

Bachelor Arbeit

**Wie variiert
die chemische Antifoulingverteidigung mit
Algenart, Standort und Jahreszeit?**



Matthias Mertzen

Kiel, Februar 2011

Inhaltsverzeichnis

1. Zusammenfassung	4
2. Einleitung	5
2.1. Braunalgen.....	5
2.1.1. <i>Fucus vesiculosus</i>	5
2.1.2. <i>Fucus serratus</i>	6
2.3. Fouling.....	7
2.4. Antifouling	8
2.5. <i>Amphibalanus improvisus</i>	9
2.5.1. Chemische Einflüsse auf das Siedlungsverhalten.....	11
2.5.2. Siedlungsraten auf unterschiedlichen Substrat	12
2.5.3. Einfluss der Jahreszeiten auf die Siedlungsaktivität.....	12
2.6. Ziele dieser Bachelorarbeit.....	12
3. Material und Methoden	14
3.1. Hälterung adulter Seepocken und Gewinnung von Nauplius Larven	14
3.2. Aufzucht von Nauplius Larven zu siedlungsfähigen Cypridenlarven.....	14
3.3. Herstellung und Konzentrationsbestimmung des Adultextrakts	15
3.3.1. Präparation eines aktivierenden, siedlungsinduzierenden Extrakts.....	15
3.3.2. Siedlungsverhalten bei verschiedenen Adultextrakt Konzentrationen	15
3.4. Siedlungsraten von Cypriden in Anhängigkeit von Algenextrakten.....	16
3.4.1. Gewinnung von Algenextrakten	16
3.4.1.1. Extrakte der Algen des Standortes Hubertsberg.....	16
3.4.1.2. Extrakte der Algen des Standortes Aschau.....	17
3.4.2. Antifouling Experimente	18
3.5. Statistische Auswertungen.....	19
4. Ergebnisse	20
4.1. Effekt des Seepockenadultextrakts.....	20
4.1.1. Siedlungsverhalten bei verschiedenen Konzentrationen des Adultextrakts ..	20
4.1.2. Mortalitätsrate bei verschiedenen Konzentrationen des Adultextrakts	21
4.1.3. Nichtsiedlungsrate bei verschiedenen Konzentrationen des Adultextrakts...	23
4.2. Effekte von Algenextrakten auf Seepockenbesiedlung	25
4.2.1. Ergebnisse vom Standort Hubertsberg	25
4.2.1.1. Siedlung bei <i>F. vesiculosus</i> Extrakt aus Hubertsberg.....	25
4.2.1.2. Siedlung bei <i>F. serratus</i> Extrakten aus Hubertsberg	27
4.2.1.3. Mortalität bei <i>F. vesiculosus</i> Extrakten aus Hubertsberg	28
4.2.1.4. Mortalität bei <i>F. serratus</i> Extrakten aus Hubertsberg	30
4.2.1.5. Nichtsiedlungsrate bei <i>F. vesiculosus</i> Extrakten aus Hubertsberg	31
4.2.1.6. Nichtsiedlungsrate bei <i>F. serratus</i> Extrakten aus Hubertsberg	32
4.2.2. Ergebnisse am Standort Aschau	35
4.2.2.1. Siedlung bei <i>F. vesiculosus</i> Extrakten aus Aschau.....	35
4.2.2.2. Siedlung bei <i>F. serratus</i> Extrakten aus Aschau.....	37
4.2.2.3. Mortalität bei <i>F. vesiculosus</i> Extrakten aus Aschau	39
4.2.2.4. Mortalität bei <i>F. serratus</i> Extrakten aus Aschau	40
4.2.2.5. Nichtsiedlungsrate bei <i>F. vesiculosus</i> Extrakten aus Aschau	42
4.2.2.6. Nichtsiedlungsrate bei <i>F. serratus</i> Extrakten aus Aschau	42
4.2.3. Vergleich der Mortalitätsraten der beiden Standorte	44

4.2.3.1 Vergleich der Mortalitätsrate von <i>F. vesiculosus</i> in Abhängigkeit der beiden Standorte	44
4.2.3.2. Vergleich der Mortalitätsrate von <i>F. serratus</i> in Abhängigkeit der beiden Standorte	45
5. Diskussion	47
5.1. Ermittlung der Adultextraktkonzentration für die höchste Siedlungsrate	47
5.1.1. Steigerung der Siedlungsrate durch Adultextrakte	47
5.1.2. Höchste Siedlungsrate bei einer Konzentration des Adultextrakts von 10 µl/ml.....	47
5.1.3. Niedrigste Siedlungsrate bei einer Konzentration des Adultextrakts von 20 µl/ml.....	48
5.2. Antifouling von <i>F. vesiculosus</i> und <i>F. serratus</i>	49
5.2.1. Antifoulingeffekte bei Algen.....	49
5.2.2. Antifoulingeffekte bei <i>F. vesiculosus</i>	50
5.2.2.1. Saisonale Unterschiede	50
5.2.2.2. Regionale Unterschiede	51
5.2.2.3. Unterschiede im Foulingdruck.....	52
5.2.3. Antifoulingeffekte bei <i>F. serratus</i>	53
5.2.4. Unterschiedliche Antifoulingeffekte bei <i>F. vesiculosus</i> und <i>F. serratus</i>	55
6. Literaturverzeichnis	56
7. Danksagung	63
8. Persönliche Erklärung	63

1. Zusammenfassung

Makroalgen verteidigen sich durch apolare und polare Antifoulingmetaboliten gegen Fraßfeinde und Epibionten, welche in den Zellen der Alge produziert werden, auf der Oberfläche der Alge aufgelagert sind und / oder ins Wasser abgegeben werden. Diese Metaboliten spielen eine große Rolle für die Verteidigung gegen Mikroorganismen wie Bakterien, Pilze und Protozoen, aber auch gegen höhere Organismen wie z.B. Algen, Wasseraseln und Seepocken. Es gibt viele Studien, in denen gezeigt wurde, dass der Antifoulingeffekt von Algen Auswirkungen auf die Siedlung von Seepocken hat (Hirote 1996; Nylund 2002; Hellio 2004; Maréchal 2004; Brock 2007; Schumacher 2007).

In der westlichen Ostsee wurden aber noch keine Antifoulingexperimente mit Blick auf saisonale Unterschiede durchgeführt. Der saisonale Antifoulingeffekt der zwei Algen-spezies *Fucus vesiculosus* und *Fucus serratus* wurde in dieser Arbeit auf die Besiedlungsrate durch die Seepocke *Amphibalanus improvisus* untersucht. Benutzt wurden Algenextrakte dieser beiden *Fucus* Arten aus der Ostsee aus verschiedenen Monaten der Jahre 2005 bis 2006 aus der Nähe von Hubertsberg und aus verschiedenen Monaten der Jahre 2006 bis 2007 aus der Nähe von Aschau. Aus dem Jahresverlauf ergaben sich schwankender Besiedlungsdruck, unterschiedliche Ressourcenbedingungen, wie z.B. Lichtintensität und -dauer sowie Nährstoffverfügbarkeit für die Algen.

Bei den Algenextrakten aus dem Winter war die Verteidigungsstärke gegen *Amphibalanus improvisus* höher; die höchste Siedlungsrate aber war bei der Kontrolle ohne Algenextrakt (bei gleichzeitiger Zugabe von Adultextrakt) zu beobachten.

Während der Experimente zeigte sich eine sehr hohe Mortalitätsrate der Cypriden. Die höchste Mortalitätsrate und der niedrigste Prozentsatz der noch im Well lebend schwimmenden Cypriden (Nichtsiedlungsrate) wurde bei Extrakten beider Algenarten aus den Sommermonaten festgestellt. Allgemein war in den Wintermonaten der Antifoulingeffekt der Algen geringer als im Sommer. Diese unterschiedliche Verteidigungsstärke der Algen könnte unter anderem mit einem geringeren Foulingdruck im Winter, unterschiedlichen Lichtverhältnissen, saisonaler Synthese von Metaboliten und unterschiedlichen Umweltbedingungen zusammenhängen.

2. Einleitung

2.1. Braunalgen

Fucus vesiculosus und *Fucus serratus* gehören zu der Gruppe der Braunalgen (Phaeophyceae) und sind in der nördlichen Hemisphäre verbreitet. Die Algen leben benthisch sowie lithophytisch auf Steinen und Felsen (Lüning, 1990). Braunalgen sind eine Ressource und bilden einen Lebensraum für viele Tierspezies. Oft bilden sie große Unterwasserwälder, in denen viele Spezies wie Muscheln, junge Fische und Krebstiere leben (Honkanen 2005).

2.1.1. *Fucus vesiculosus*

Fucus vesiculosus (Blasentang) (Abb. 1) ist eine mehrjährige marine Braunalge. Sie ist entlang der nordatlantischen Küste bis hin zur Ostsee verbreitet und bildet dichte Gürtel der lithoralen Vegetation auf steinigem Grund (Honkanen 2005). *F. vesiculosus* wird zwischen 30 und 100 cm lang. Die Alge kann bei einer geringen Salinität von 8 PSU zeitweise sogar trocken fallend leben (Weitmeyer 1999). Die Gametenbildung erfolgt im Wesentlichen im Frühjahr und im Sommer (Berger 2001). In der westlichen Ostsee ist *F. vesiculosus* die dominierende Makroalge, kommt aber heute nur noch selten in großen zusammen hängenden Beständen vor (Selig 2008).

In den letzten Jahrzehnten ist das Verbreitungsgebiet von *F. vesiculosus* in der Ostsee stark zurückgegangen (Schories 2003). In den 60er Jahren kam *F. vesiculosus* in einer Wassertiefe von bis zu 10 m vor (Schwenke 1964; Schwenke 1965). Über die letzten 55 Jahre konnte ein Rückgang von *F. vesiculosus* von bis zu 80 % verzeichnet werden. Heute findet man *F. vesiculosus* nur noch bis zu einer Wassertiefe von bis zu 3 m (Wahl 2010). Ein Grund dafür könnte die Eutrophierung und die dadurch erhöhte Anzahl an Phytoplankton im Wasserkörper sein, was dazu führt, dass *F. vesiculosus* die benötigten Nährstoffe und das notwendige Licht zur Siedlung in größeren Tiefen fehlt (Kautsky 1986; Torn 2006). Durch die gestiegene Menge an Phytoplankton und Nährstoffen steigt die Zahl und die Wachstumsrate von Epibionten, was eine stärkere Besiedlung der

Thallusoberfläche von *F. vesiculosus* zur Folge hat (Jormalainen 2008; Rohde 2008). Diese Faktoren könnten der Grund für den Rückgang der Populationsdichte sein.



Abbildung 1: *Fucus vesiculosus*

2.1.2. *Fucus serratus*

Fucus serratus (Abb. 2) wächst in tieferen Wasserschichten als *F. vesiculosus*. Sie wächst jedoch immer in Küstennähe, also unter dem Verbreitungsgebiet von *F. vesiculosus* in der Nordsee und Ostsee in einer Wassertiefe von 1 – 5 m (Weitmeyer 1999). Bei *F. serratus* findet die Gametenbildung im Herbst und Winter statt. Dies stellt eine saisonale Isolation zu *F. vesiculosus* dar.



Abbildung 2: *Fucus serratus*

2.2. Epibionten

Bei Makroalgen wie z.B. *F. vesiculosus* und *F. serratus* stellt ihre Oberfläche ein wertvolles Substrat für die Besiedlung mariner Epibionten, wie *A. improvisus* oder *Mytilus edulis* dar.

Die Eigenschaft einiger Epibionten, auf lebenden Substraten siedeln zu können (Wikström 2004), bietet mehrere Vorteile. Einerseits können sie auf diese Weise mehr Raum besiedeln, da Hartsubstrat einen limitierten Faktor in vielen Meeren darstellt (D Antonio 1985); andererseits befinden sich Epibionten durch die Besiedlung anderer Organismen näher am Licht und darüber hinaus ist für sie so auch eine bessere Nährstoff- und / oder Futterversorgung durch die stärkere Strömung im Gegensatz zum Boden gewährleistet (Brouns 1986; Wahl 1989).

Die Besiedlung durch Epibionten kann zu schwerwiegenden Nachteilen für die Algen führen. Mit der Besiedlung der Algenoberfläche wird die Photosyntheserate reduziert (Oswald 1984). Hinzu kommt, dass der Fouler (Epibionten, die auf anderen Organismen siedeln) wie z. B. *Ulva spec.* (epibiontische Alge) und der Basibiont (Organismus der besiedelt wird) wie beispielsweise Algen unter Umständen um die Nährstoffe konkurrieren. Aus diesen beiden Aspekten folgt ein geringeres Wachstum und im Endeffekt eine geringere Reproduktion der Alge (D Antonio 1985; Brawley 1992). Die Alge steht auch in der Gefahr, durch den erhöhten Strömungswiderstand ab zu reißen. Dies könnte letztlich zu ihrem völligen Absterben führen.

Epibiose hat aber nicht nur negative Effekte für den Basibionten, sondern kann auch Vorteile haben. Beispielsweise kann ein durch Foulingmechanismen entstandener Bakterienfilm bei der Verteidigung helfen, da sie ein Mikroklima bilden, welches Prädatoren und Fouler abschreckt (Wahl 1995; Cerrano 2001; Marin 2005).

2.3. Fouling

Fouling beschreibt den Prozess der Besiedlung eines lebenden oder toten Substrats durch andere Organismen. Dieser wird in vier charakteristische Phasen unterteilt. Hierbei können die kolonisierenden Prozesse zum Teil überlappen (Wahl 1989).

Die erste Phase beginnt in der ersten Sekunde, nachdem das Substrat Kontakt mit Wasser bekommt. Dabei wird die Deposition und Adsorption von Molekülen an der Oberfläche des Substrates induziert, was als molekulares Fouling bezeichnet wird (Maki 2002).

Innerhalb von Stunden beginnt die zweite Phase, in der die Oberfläche des Substrates von Bakterien besiedelt wird. Bakterien stellen mit Abstand die größte Anzahl aller im Meerwasser enthaltenen Organismen dar. Somit ist die Wahrscheinlichkeit groß, dass sie Kontakt mit einem neuen Substrat bekommen (Fechel 1988; Wahl 1989).

Nach ein paar Tagen beginnt die dritte Phase, in deren Verlauf weitere Mikroorganismen (Mikrofouler) wie Diatomeen und Protozoen auf der Oberfläche des Substrates siedeln (Wahl 1989).

In der vierten und letzten Phase beginnt die Siedlung der Makrofouler (Maki 2002). Sie startet nach einer bis mehreren Wochen mit der Besiedlung der Oberfläche durch Larven verschiedener Invertebraten, durch Algensporen sowie durch weitere größere Eukarioten (Wahl 1989).

2.4. Antifouling

Ein Großteil aller Substrate, die über keine Verteidigungsmechanismen verfügen, werden innerhalb einiger Monate zu 100 % besiedelt (Richmond 1991). Da dies zu den oben bereits erwähnten Konsequenzen führt, müssen sich Makroalgen gegen Mikrofouler wie Bakterien, Pilze und Protozoen, aber auch gegen Makrofouler wie Algen und Seepocken verteidigen.

Makroalgen haben im Laufe der Evolution verschiedene Verteidigungsstrategien entwickelt. Zu diesen gehören z.B. die physikalische und die chemische Verteidigung (Wahl 1989; de Nys 1999). Ein Beispiel für die physikalische Verteidigung ist die Produktion von Schleim. Bei der chemischen Verteidigung produziert die Alge Sekundärmetabolite, Stoffe, die für das Wachstum und Überleben der Algen zwar nicht unbedingt notwendig sind, aber bei der Verteidigung eine große Bedeutung haben. Dabei haben manche von ihnen ein breites Spektrum an Bioaktivität (Gama 2002); gleichzeitig bedeutet die Bildung von Metaboliten eine Steigerung des Energiebedarfs.

Es gibt zwei Arten der chemischen Verteidigung, zum einen die konstitutive Verteidigung, welche durch Metaboliten erfolgt, die immer gebildet und auf der Oberfläche und in den Zellen der Alge gespeichert werden, und zum anderen die dynamische Verteidigung, welche noch einmal in induzierte und aktivierte Verteidigung unterteilt wird (Weinberger 2002; Paul 2004).

Bei der induzierten Verteidigung werden Verteidigungsmetabolite erst nach dem Detektieren von Fraßfeinden und Foulern durch deren Signale synthetisiert (Borell 2004). Im Gegensatz dazu werden bei der aktivierten Verteidigung die verschiedenen Komponenten, die eine chemische Reaktion auslösen, getrennt voneinander gelagert oder weniger aggressive Vorläufermetaboliten gebildet und gespeichert. Nach einer Gewebeverletzung werden aus den verschiedenen Komponenten und den Vorläufermetaboliten reaktive Folgeprodukte, welche eine toxische oder abschreckende Wirkung auf die Fouler und Herbivoren haben (Van Alstyne 1988; Paul 1992; Van Alstyne 2001).

Verteidigung gegen Fouler bedeutet einen zusätzlichen Energieaufwand für den Organismus (Stamp 2003), deshalb wird sie nur in bestimmten Fällen wie z.B. bei der dynamischen Verteidigung aktiviert, wenn sie auch gebraucht wird (Harvell 1990). Eine aktivierte Verteidigung in Abwesenheit von Foulingorganismen würde zur Abnahme der Fitness der Algen führen (Dworjanyn 2006). Da diese Kosten aber mit der Ressourcenverfügbarkeit variieren (Davison 1996) und in manchen Studien, bei denen die chemische Verteidigung der Algen untersucht wurde, nicht detektiert werden konnte (Wahl 2008, Pansch 2009), kann man nicht generell von einem höheren Energieaufwand mit gleichzeitigem Fitnessverlust sprechen.

2.5. *Amphibalanus improvisus*

Seepocken sind eine der wenigen sessil lebenden Krebstiere (Crustacea). Sie gehören zur Klasse der Rankenfüßer (Cirripedia). *Amphibalanus improvisus* (Abb. 3) ist eine weit verbreitete Art in der Ostsee. Sie kann sowohl bei einem niedrigen als auch bei einem fluktuierenden Salzgehalt leben. *A. improvisus* siedelt auf vielen Hartsubstraten wie Steinen, Algen und Treibgut. Im Adultstadium ernährt sich *A. improvisus* von verschiedenen Planktonorganismen.

Die adulten Seepocken sind Hermaphroditen. Adulte *A. improvisus* entlassen - wie 80 % aller marinen Invertebratenlarven - mehrere Male pro Jahr Larven. Dabei liegt die Wassertemperatur in der westlichen Ostsee meist bei über 11 °C (Thorson 1964).



Abbildung 3: Adulte *Amphibalanus Improvisus*

Im Verlauf der temporären Larvenstadien kommt es zu sechs Häutungen. An ihrem Ende steht der Übergang in das Cypridenstadium. Weil sie im Cypridenstadium keine Nahrung mehr aufnehmen, eignen sie sich gut für längere Antifoulingexperimente, in denen die Siedlung auf Algensubstrat untersucht wird, da eine Verunreinigung durch Futterzugabe vermieden werden kann.

Im Cypridenstadium suchen die Larven geeignete Substrate wie z.B. Felsen, Steine, Holz oder Algen, um auf ihnen zu siedeln (Pawlik 1992). Die Oberflächenbegutachtung der Substrate wird mit speziellen Sinnesorganen, den Antenulla durchgeführt, mit denen die Larven sowohl die chemische wie auch die physikalische Beschaffenheit der Oberfläche detektieren (Berntsson 2000).

Nachdem sie ein passendes Substrat zum Siedeln gefunden haben, befestigen sich die Cypridenlarven mit einem klebrigen, flüssigen hydrophoben Protein, welches aus einem der Apendixe sekretiert wird (Chambers 2006). Diese Besiedlung kann in mehrere Verhaltensmuster eingeteilt werden, wie die Erkundung, die Orientierung, die Inspektion und schließlich die Anheftung und Fixierung. Die letzte Phase ist permanent und irreversibel (Crisp 1984).

Die Siedlung von Cypriden wird durch viele Faktoren beeinflusst. Hierzu gehören das Vorhandensein von Adulten, welche chemische Botenstoffe in den Wasserkörper entlassen (Dineen 1991), Temperatur, Interaktionen mit Bakterien (Maréchal 2004), Strömung und Substratbeschaffenheit (Crisp 1974; Lewis 1978; Pineda 1997).

Nach der Siedlung durchlaufen die Seepocken mehrere Metamorphosen in der neu gebildeten Schale bis hin zum ausgereiften Adultstadium.

2.5.1. Chemische Einflüsse auf das Siedungsverhalten

Der chemische Einfluss von adulten Seepocken auf das Siedungsverhalten von Seepocken wurde in Laborexperimenten gezeigt (Knight-Jones 1953; Crisp 1962; Rittschof 1984; Dineen 1991).

Die gemeinschaftliche Siedlung von Seepocken an einem Standort wurde zuerst von Knight-Jones (1953) beschrieben. Zudem hat die Siedlung von Cypriden in einem bereits besiedelten Habitat derselben Spezies einen wesentlichen Einfluss auf deren Populationsdynamik (Berntsson 2004). Für eine höhere Siedlungsrate von Cypriden im Bereich von adulten Seepocken ist eine siedlungsinduzierende chemische Substanz verantwortlich, welche die adulten Seepocken ins Wasser abgeben.

Dineen (1991) zeigte, dass die Siedlung von Cypriden der Art *Amphibalanus improvisus* in Anwesenheit von innerartlichen (konspezifischen) und artverwandten (kongenerischen) Adulten stimuliert wird. In Aquarien mit konspezifischen Adulten war die Siedlungsrate höher als in solchen mit kongenerischen Adulten. Die niedrigste Siedlungsrate lag in unbehandelten Aquarien vor.

Zu ähnlichen Ergebnissen kam auch eine Studie von Berntsson (2004), der im Labor beobachtete, dass die Cypriden das Substrat mit Adultextrakt bei stillem Wasser häufiger berührten und erkundeten als jenes ohne Extrakt. Diese Erkenntnis konnte allerdings in Freilandversuchen nicht verifiziert werden.

Das Problem bei Laborexperimenten ist, dass keine adulten Seepocken vorhanden sind. Dies bewirkt eine verzögerte und geringere Siedlungsrate und zuweilen gar keine Effekte, wie sie unter natürlichen Bedingungen zu beobachten sind (Zimmer 2000). Deshalb ist es sehr wichtig, dass Siedlungsexperimente mit Cypriden im Labor mit Adultextrakt, welches die chemischen Komponenten der siedlungsinduzierenden Substanzen enthält, durchgeführt werden.

Um die Siedlungsrate zu beschleunigen und zu erhöhen, wurde in vielen Studien, wie auch in dieser Arbeit, Adultextrakt benutzt (Dineen 1991; Satuito 1997; Matsumura 1998; Patil 2006).

2.5.2. Siedlungsraten auf unterschiedlichen Substrat

Etliche Studien haben den Effekt von Antifouling auf Seepockenbesiedlung analysiert. Dabei zeigten die meisten Studien, dass Epibionten einen negativen Effekt auf die Algen haben (Hirote 1996; Nylund 2002; Hellio 2004; Maréchal 2004; Brock 2007; Schumacher 2007). Wikström (2004) ermittelte, dass *A. improvisus* eine signifikant niedrigere Siedlungsrate auf *F. vesiculosus* hat als auf anderen *Fucus* Arten (wie z.B. *F. distichus*). Zudem zeigen Studien zu *A. improvisus* vor der Schwedischen Küste (58°52'N, 11°09'O) eine signifikant höhere Siedlungsrate auf Hartsubstraten (z.B. Felsen) im Vergleich zu biologischen Oberflächen wie z.B. solchen von *F. vesiculosus* (Brock 2007).

Für *F. vesiculosus* wurde eine Vielfalt von sekundären Metaboliten identifiziert, welche Antifoulingaktivitäten zeigen (Clare 1996; Rittschof 2000), diese könnten auch auf die Siedlungsrate von *A. improvisus* negative Auswirkungen haben.

2.5.3. Einfluss der Jahreszeiten auf die Siedlungsaktivität

Diverse Studien haben gezeigt, dass benthische Organismen wie *F. vesiculosus* starke Variationen in der biologischen Aktivität (Hellio 2004) und / oder bei der chemischen Verteidigung (Steinberg 1992; Amade 1998) zu verschiedenen Jahreszeiten aufweisen. In der Studie von Maréchal (2004) wurde die Siedlung von *B. amphitrite* auf der Braunalge *Bifurcaria bifurcate* untersucht. Die Ergebnisse zeigten eine höhere Antifoulingaktivität der Markroalgen im Frühling und Sommer, also in der Zeit, in der der Foulingdruck auf die Algen am intensivsten ist (Maréchal 2004).

2.6. Ziele dieser Bachelorarbeit

Bislang gibt es noch keine vergleichenden Studien über die Verteidigung von *F. vesiculosus* und *F. serratus* gegenüber Makrofoulern in der Ostsee. Deshalb war es das Ziel

der Untersuchungen im Rahmen dieser Bachelorarbeit, den Antifoulingeffekt der beiden Algenspezies *F. vesiculosus* und *F. serratus* gegen die Seepockenart *A. improvisus* im saisonalen Verlauf an zwei Standorten in der Ostsee zu vergleichen. Dabei wurde zunächst im Detail untersucht, bei welcher Konzentration an Adultextrakt die Larven am besten siedeln, um anschließend die saisonale und räumliche Variabilität der Verteidigung der Algenarten zu untersuchen.

Die Standorte der Algenentnahme wurde nach ihrer unterschiedlichen Lage ausgewählt, dabei stellte Hubertsberg an der Ostseeküste (Panker; 54°38' 96.01"N, 10°54' 01.05"E) einen eher exponierten Standort dar. Dieser zeichnete sich durch einen stärkeren Wellengang und eine geringere Fluktuation der Wassertemperatur und des Salzgehaltes aus. Im Gegensatz dazu zeichnete sich der Standort Aschau (Altenhof, Eckernförder Bucht; 54°27' 45.51"N, 9°56' 04.98"E) durch einen geringeren Wellengang bei gleichzeitig stärkerer Fluktuation der Wasserparameter aus. Die Algen wurden an den beiden Standorten in der Zeit von Juni 2005 bis Januar 2007 gesammelt, um Replikationen darzustellen und Parallelen zwischen den einzelnen Jahren ziehen zu können. Für die Monate Februar bis April 2006 lagen von beiden Standorten zeitgleich gesammelte Algenproben vor.

3. Material und Methoden

3.1. Hälterung adulter Seepocken und Gewinnung von Nauplius Larven

Adulte *A. improvisus* Individuen wurden im Herbst 2010, gesiedelt auf Steinen, am Ostufer der Kieler Förde (Kiel; 54°32' 79.33"N, 10°18' 18.48"O) gesammelt. Die Steine mit den Seepocken wurden mit Meerwasser abgespült, gereinigt und danach in mit Wasser gefüllten Plastikwannen bei einer konstanten Temperatur von 20 °C und kontinuierlichem Licht platziert. Sie wurden mit ausreichend frisch geschlüpften *Artemia* Nauplii gefüttert. Die Plastikwannen mit den adulten *A. improvisus* wurden kontinuierlich mit Meerwasser einer Salinität von 15 PSU aus der Kieler Förde versorgt.

Nachdem sie für zwei Stunden trocken gelagert wurden, entließen die wieder mit Wasser bedeckten adulten *A. improvisus* die Naupliuslarven. Die Naupliuslarven wurden mit einem Membranfilter (90 µm) am Plastikwannenüberlauf gesammelt. Sie befanden sich im Stadium I und entwickelten sich innerhalb weniger Stunden ins Stadium II. Die im Experiment verwendeten Stadium II Larven stammten von unterschiedlichen Adulten, da mehrere Adulte in einer Plastikwanne gehalten wurden. Der Inhalt des Filters mit ca. 1500 Larven wurde in ein Becherglas entleert. Da sich die Larven zum Licht bewegen, wurde das Becherglas mit einer Lichtquelle angestrahlt, so konnten die Larven detektiert und abgesammelt werden. Sie wurden im Labor für die Kulturen verwendet, aus denen Cypriden für die Experimente gewonnen wurden.

3.2. Aufzucht von Nauplius Larven zu siedlungsfähigen Cypridenlarven

Die Nauplius-II-Larven wurden in einem Behälter mit einem Volumen von 5 l Meerwasser mit einer Salinität von 15 PSU und einer Wassertemperatur von 22 °C gehältert. Sie wurden durch einen Sprudelstein mit ausreichend Sauerstoff versorgt. Das Wasser wurde alle drei Tage gewechselt. Das Futter beinhaltete zwei Arten von Algen: *Chaetoceros calcitrans* und *Skeletonema costatum*. Es wurde nach dem Wasserwechsel in einer Konzentration von 1×10^5 Zellen $\times \text{ml}^{-1}$ gefüttert, dabei wurde 200 ml dieser Suspension zu 5 l Cypriden Suspension gegeben. Nach etwa 7 bis 9 Tagen durchliefen die Larven die vorletzte Metamorphose und wurden zu Cypriden.

Nach der Metamorphose aus einem jüngeren Larvenstadium zu Cypriden wurde das in ihrem Behälter vorhandene Meerwasser gefiltert. Das Filtersystem beinhaltete drei hintereinander folgende Einheiten mit 200 µm, 160 µm und 90 µm Porenweite. Im Anschluss wurden die Inhalte der drei Filter in je eine Petrischale gegeben. Die Petrischale vom ersten Filter mit 200 µm Porenweite enthielt eine Mischung aus Cypriden und jüngeren Larvenstadien. In der zweiten Petrischale des zweiten Filters mit einer Porenweite von 160 µm waren weniger Cypriden als jüngere Larvenstadien. In der letzten Petrischale des letzten Filters mit 90 µm Porenweite wurden nur Algen gefunden - es hätte aber sein können, dass noch jüngere Larvenstadien vorhanden waren.

Die ersten beiden Petrischalen wurden mit einer Lichtquelle bestrahlt. An Hand des unterschiedlichen Schwimmstils von Larven und Cypriden wurden die Cypriden detektiert.

3.3. Herstellung und Konzentrationsbestimmung des Adultextrakts

3.3.1. Präparation eines aktivierenden, siedlungsinduzierenden Extrakts

Von den gesammelten adulten Seepocken wurden ca. 80 g von den Steinen gekratzt, zermörsert und anschließend in einer 50 mM Tris-HCL Verdünnung homogenisiert. Diese entsprach dem 1,5-fachen Volumen der gemörserten Seepockenmasse. Die Lösung wurde zusätzlich mit einem Magnetrührer für 120 min gemischt. Nach der Filtration wurde das Homogenat bei 40.000 rpm für 30 min abzentrifugiert. Der Überstand wurde darauf durch ein Filterpapier mit einer Porenweite von 8 µm filtriert. Die resultierende Flüssigkeit – Adultextrakt – wurde bei -80 °C gelagert. Die Extraktproduktion wurde bei 4 °C oder auf Eis durchgeführt (Matsumura 1998).

3.3.2. Siedlungsverhalten bei verschiedenen Adultextrakt Konzentrationen

Jeweils zehn Cypriden wurden in ein Well einer sechser Multiwellplatte - in jedem Well waren 5 ml gefiltertes Meerwasser enthalten - pipettiert. Im Anschluss wurden verschiedene Konzentrationen des Adultextrakts (0 µl/ml, 0,2 µl/ml, 2 µl/ml, 10 µl/ml und 20 µl/ml) in jeweils eine der Kammern gegeben. Erstellt wurden jeweils fünf Replikate pro Konzentration. Jedes Replikat wurde in einem eigenen Wasserbad mit einer konstanten Temperatur von 20 °C inkubiert.

Die Platten wurden 26 Tage lang jeden Tag unter einem Binokular beobachtet. Dabei wurde die Zahl der gesiedelten und toten Cypriden ermittelt.

3.4.Siedlungsraten von Cypriden in Anhängigkeit von Algenextrakten

3.4.1. Gewinnung von Algenextrakten

3.4.1.1. Extrakte der Algen des Standortes Hubertsberg

Für das erste Antifoulingexperiment wurden Algenproben verwendet, die vom Juli 2005 bis April 2006 im Zweimonatsrhythmus von *F. vesiculosus* und von Juni 2005 bis April 2006 ebenfalls im Zweimonatsrhythmus von *F. serratus* in Hubertsberg an der Ostseeküste (Panker; 54°38' 96.01"N, 10°54' 01.05"O) gesammelt wurden. Die gesammelten Algenproben waren gefriergetrocknet und mit einem Homogenisator zu einem feinen Pulver zermahlen. Die Benutzung der Algen in dieser Form hatte den Vorteil, dass man die saisonalen Aktivitäten der Algen mit Cypriden aus dem gleichen Kulturansatz testen konnte und somit vergleichbare Ergebnisse erzielte. Die Proben standen zu Beginn des Versuches bereits zur Verfügung.

Es wurde je ein Extrakt pro Algenart und Monat hergestellt – bezogen auf den Standort Hubertsberg insgesamt zehn verschiedene. Von diesen zehn Extrakten wurden jeweils fünf Unterproben auf je ein Well einer zwölfer Multiwellplatte gegeben, und jede Multiwellplatte wurde in je eines der fünf Wasserbäder gestellt.

Für die fünf Unterproben einer Algenart wurden 3 g Algenpulver benutzt. Im Endeffekt gab es zehn verschiedene Pulver von je 3 g, die in je ein Tube gegeben wurden. Das Gewicht des benutzten Algenpulvers wurde nach der natürlichen Konzentration an Algenmetaboliten durch Berücksichtigung des Feuchtgewichts der Algenart auf ein Volumen von 20 ml (fünf Wells mit jeweils 4 ml Salzwasser /15 PSU) ermittelt.

Die jeweils 3 g Pulver in den zehn Tubes wurden in 10 ml Dichlormethan gelöst, um die unpolaren und polaren Metaboliten aus dem Algenpulver zu extrahieren. Nach drei Stunden auf einem Schüttler wurden die Proben bei 40.000 rpm zentrifugiert; die resultierenden Überstände wurden in neue zehn Tubes abgefüllt.

Dieser Prozess wurde dann, um eine höhere Ausbeute an Metaboliten zu erreichen, ein zweites Mal durchgeführt. Dabei wurden neue 10 ml Dichlormethan in die ersten zehn Tubes mit dem benutzten Pulver gefüllt. Danach wurden sie wieder für die gleiche Zeit auf den Schüttler gelegt und erneut abzentrifugiert.

Im Anschluss wurden die Lösungen aus beiden abzentrifugierten Überständen gemeinsam filtriert und zusammen in neue zehn Tubes gegeben. Die zehn Algenextrakte wurden in ein Wasserbad mit einer Temperatur von 20° C gestellt. Danach wurden sie mit Stickstoff begast, so dass 30 min. später das Dichlormethan verdampft war. Nun waren die Algenextrakte konzentriert und dickflüssig.

Pro Tube wurden nun 3,5 ml Methanol (Methanol hat eine geringere toxische Wirkung auf Cypriden als Dichlormethan) dazu pipetiert, und die zehn Tubes in ein Ultraschallbad gehängt, um die konzentrierten Algenextrakte erneut zu lösen. Danach wurde die Lösung von jedem der verschiedenen Monate in Wells gegeben.

Es wurden sowohl von dem Extrakt aus *F. vesiculosus* als auch von dem aus *F. serratus* jeweils fünf Unterproben (700 µl) für jeden Monat in fünf verschiedene zwölf Multiwellplatten gefüllt. Jede Multiwellplatte wurde in ein eigenes Wasserbad mit 20° C gestellt. In jeder Multiwellplatte waren zwei Kontrollwells, die kein Algenextrakt beinhalten, aber das Lösungsmittel Methanol.

In jedes Well kamen 700 µl des jeweiligen Algenextrakts. Über Nacht verdampfte das Methanol, und die Algenextrakte bildeten einen Film auf dem Boden und der Wand der Multiwellplatten. Dabei lag das Verhältnis bei 1:10 zwischen dem Versuchsvolumen und dem applizierten Algenextrakt, was einer natürlichen Konzentration bezogen auf das Feuchtgewicht der Algen entspricht.

3.4.1.2. Extrakte der Algen des Standortes Aschau

Für das zweite Antifoulingexperiment wurden Algenproben von Februar 2006 bis Januar 2007 (ausgenommen ist der Monat März) von *F. vesiculosus* und im Zweimonatsrhythmus - von Februar 2006 bis Dezember 2006 - von *F. serratus* in der Nähe von Aschau (Altenhof, Eckernförder Bucht; 54°27' 45.51"N, 9°56' 04.98"O) gesammelt.

Auch diese Algen wurden als gefriergetrocknetes Pulver gelagert und standen zu Beginn des Experiments zur Verfügung.

Die Extrakte aus *F. vesiculosus* und *F. serratus* aus der Nähe von Aschau wurden genauso hergestellt wie unter 3.4.1.1. beschrieben. Allein die Anzahl der erstellten Algenextrakte differierte. Es wurden elf Algenextrakte von *F. vesiculosus* aus elf verschiedenen Monaten und sechs Algenextrakte von *F. serratus* aus sechs Monaten (in der Regel in einem Zweimonatsrhythmus) hergestellt.

Von den *F. vesiculosus* Extrakten wurden jeweils fünf Unterproben für jeden Monat auf fünf Multiwellplatten gefüllt. Auch von den *F. serratus* Extrakten wurden fünf Multiwellplatten mit jeweils fünf Replikaten für jeden Monat und jeweils einem Kontrollwell angelegt.

Es wurde eine Multiwellplatte mit *F. vesiculosus* Extrakten zusammen mit einer Multiwellplatte mit Extrakten von *F. serratus* in einem Wasserbad inkubiert. Es gab insgesamt fünf Kontrollen, je Wasserbad eine.

3.4.2. Antifouling Experimente

Es wurden fünf Extrakte von *F. vesiculosus* aus Hubertsberg aus fünf Monaten, fünf Extrakte von *F. serratus* aus Hubertsberg aus fünf Monaten, elf Extrakte von *F. vesiculosus* aus Aschau aus elf Monaten und sechs Extrakte von *F. serratus* aus Aschau aus sechs Monaten hergestellt.

Für das erste Antifoulingexperiment wurden in jedes der fünfzig mit den Algenextrakten aus Hubertsberg gefüllten Wells der zwölf Multiwellplatten und in zehn weitere Wells ohne Algenextrakte, aber mit Lösungsmittel (Kontrolle), zehn Cypriden gegeben.

Für das zweite Antifoulingexperiment wurden zehn Cypriden in jedes der fünfundachtzig mit Algenextrakten aus Aschau versehenen Wells auf zwölf Multiwellplatten und zusätzlich in fünf Wells ohne Algenextrakt gegeben. Die Cypriden wurden wie unter 3.1.1. beschrieben gewonnen.

Bei beiden Antifoulingexperimenten wurde außerdem in jedes Well das aus *A. improvisus* hergestellte Adultextrakt (siehe 3.3.1.) gegeben. Das Adultextrakt wurde in einer

Konzentration von 10 $\mu\text{l/ml}$ eingesetzt. Es wurden 40 μl des Adultextrakts und 4 ml Meerwasser in jedes Well gegeben.

Anschließend wurden die Multiwellplatten täglich über 27 Tage mit einem Binokular beobachtet und - wie im ersten Experiment (siehe oben) - die Zahl der toten und gesiedelten Cypriden ermittelt und erfasst.

3.5. Statistische Auswertungen

Alle Daten wurden mit dem Shapiro-Wilk's Test auf Normalität geprüft. Wenn die Normalität nicht gegeben war, wurde versucht, sie in eine Normalverteilung zu transformieren. Da dies nicht immer möglich war, wurde die Signifikantsschwelle von $p = 0,05$ auf $p = 0,01$ herabgesetzt.

Außerdem wurden die Ergebnisse mit einer Repeated Measures ANOVA (Analysis of Variance) und mit Hilfe einer One Way ANOVA vom letzten Tag des Experiments ausgewertet. Schließlich wurden Post Hoc Tukey's Tests durchgeführt, um so die signifikanten Unterschiede zwischen den Algenextrakten der verschiedenen Monate zu analysieren.

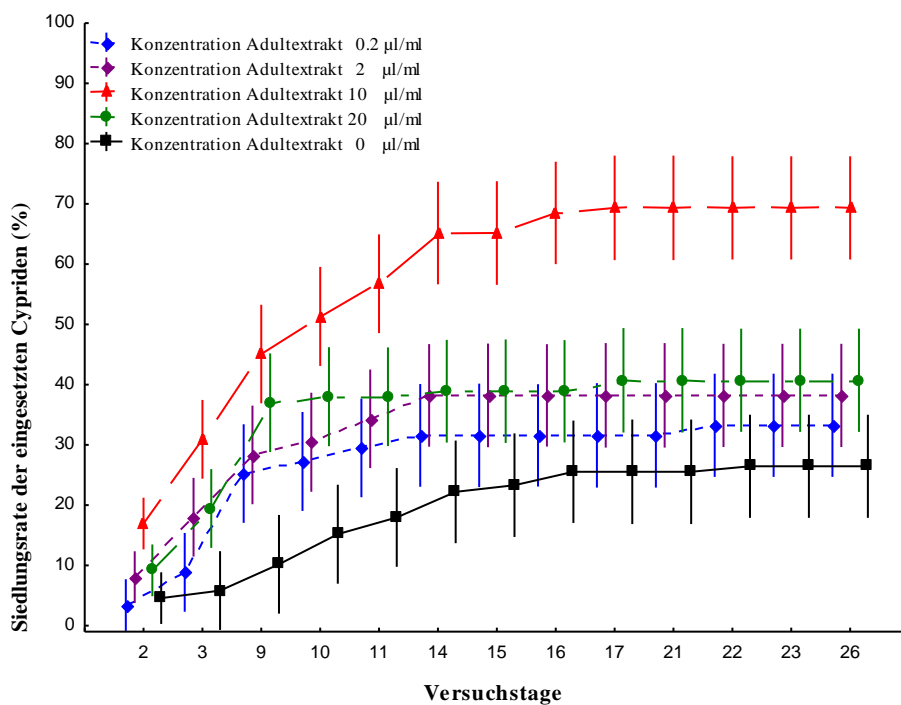
4. Ergebnisse

4.1. Effekt des Seepockenadultextrakts

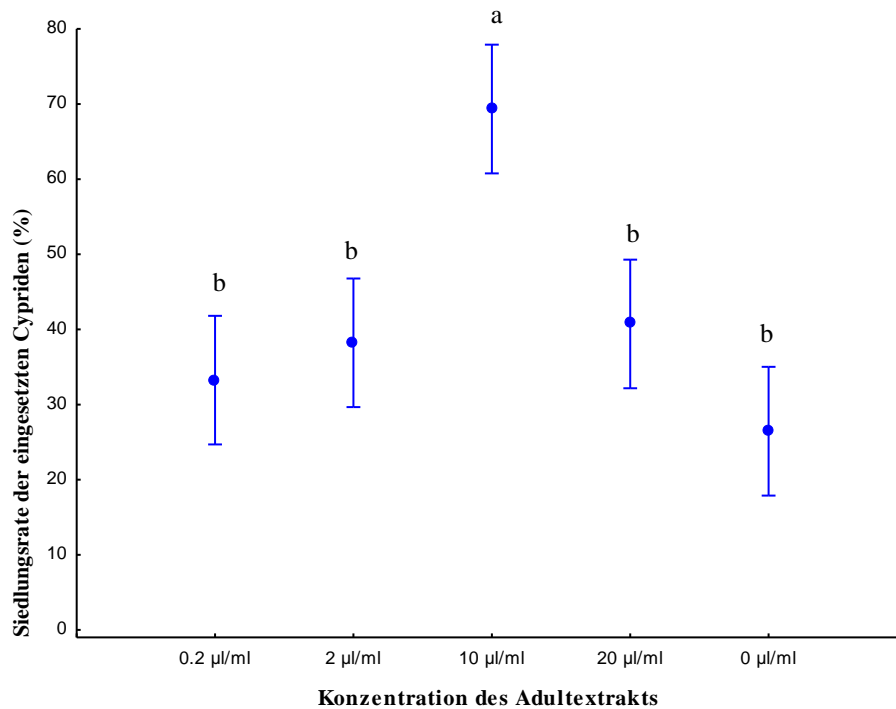
4.1.1. Siedungsverhalten bei verschiedenen Konzentrationen des Adultextrakts

Der Effekt des Adultextrakts von *A. improvisus* auf die Siedlung bei verschiedenen Konzentrationen über die Zeit des Experiments wird in Grafik 1 dargestellt.

Die höchste Siedlungsrate wurde bei einer Konzentration von 10 µl/ml beobachtet, wobei ca. 70 % der Cypriden über 30 Tage siedelten. Die niedrigste Siedlungsrate war bei der Kontrolle zu beobachten. Bei einer Adultextraktkonzentration von 20 µl/ml war die Siedlungsrate der Cypriden um ca. 35 % geringer als bei den übrigen Konzentrationen. Der Siedlungsratenunterschied zwischen 0,2 µl/ml und 2 µl/ml war hingegen sehr gering. Nach 14 Tagen nahm die Siedlungsrate in allen Wells mit Adultextrakt sowie in der Kontrolle merklich ab. Es gab eine signifikante Differenz beim Post Hoc Tukey's Test ($p \leq 0,01$) am letzten Tag des Experiments zwischen der Konzentration 0 µl/ml (Kontrolle) und 10 µl/ml (Tabelle 2 / Grafik 2).



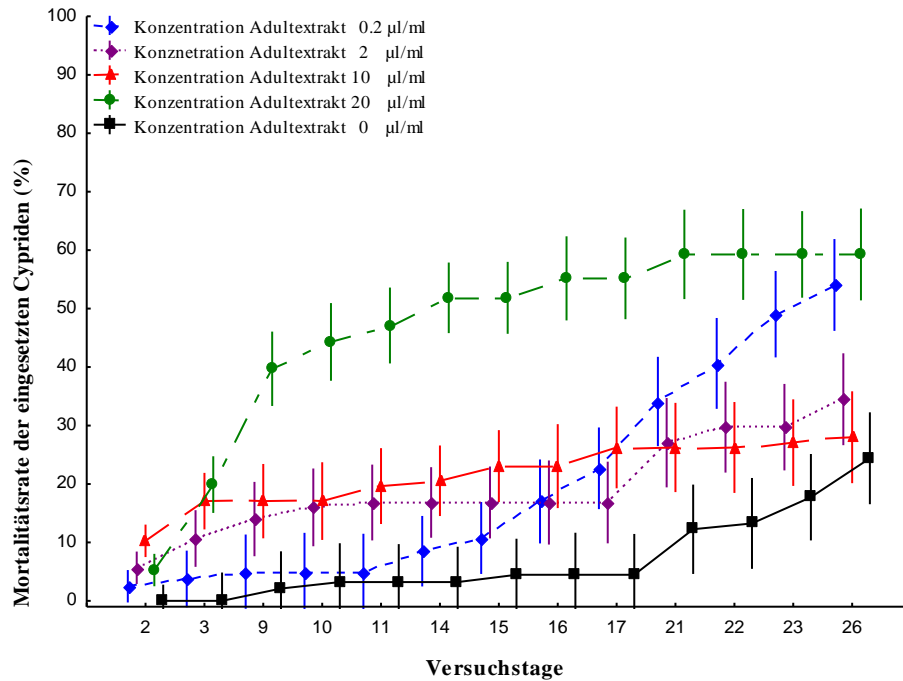
Grafik 1: Effekt verschiedener Konzentrationen des Adultextrakts auf die Siedlungsrate der eingesetzten Cypriden von *A. improvisus* über die Zeit des Experiments (Mittelwert \pm Standardfehler, der bei Werten außerhalb des 0 - 100 Bereichs nicht dargestellt ist).



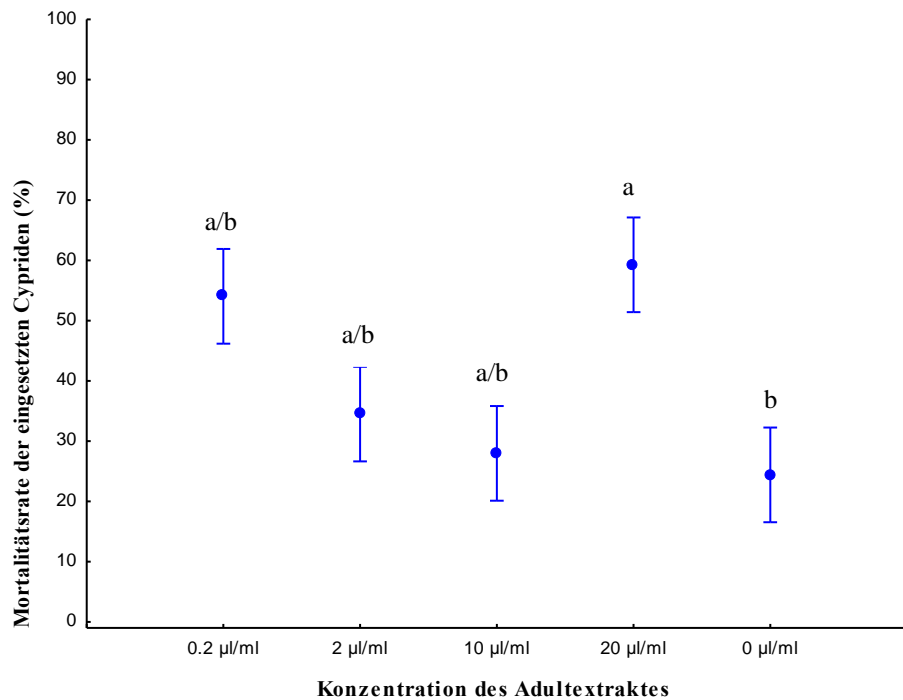
Grafik 2: Siedlungsraten der eingesetzten Cypriden von *A. improvisus* unter verschiedenen Konzentrationen des Adultextrakts. (Mittelwerte \pm Konfidenzintervalle). Signifikante Differenzen sind durch kleine Buchstaben gekennzeichnet (Tukey's Test, $\alpha \leq 0,01$).

4.1.2. Mortalitätsrate bei verschiedenen Konzentrationen des Adultextrakts

Die Mortalitätsrate bei verschiedenen Konzentrationen des Adultextrakts von *A. improvisus* während des Experiments ist in Grafik 3 abgebildet. Die Mortalitätsrate stieg mit der Zeit des Experiments stetig an und erreichte nach 26 Tagen eine maximale Mortalität von ca. 50 bis 60 % bei einer Konzentration von 0,2 und 20 µl/ml Adultextrakt. Bei den übrigen Konzentrationen waren am Ende des Experiments nur geringe Unterschiede in der Mortalitätsrate zu beobachten, und die Mortalität in der Kontrolle blieb unter der der behandelten Gruppen. Am letzten Tag des Experiments zeigte ein Post Hoc Tukey's Test einen signifikanten Unterschied zwischen den Mortalitätsraten bei einer Konzentration von 20 µl/ml und 0 µl/ml (Tabelle 2 / Grafik 4).



Grafik 3: Effekt verschiedener Konzentrationen des Adultextrakts auf die Mortalitätsrate der eingesetzten Cypriden von *A. improvisus* über die Zeit des Experiments (Mittelwert \pm Standardfehler, der bei Werten außerhalb des 0 - 100 Bereichs nicht dargestellt ist).



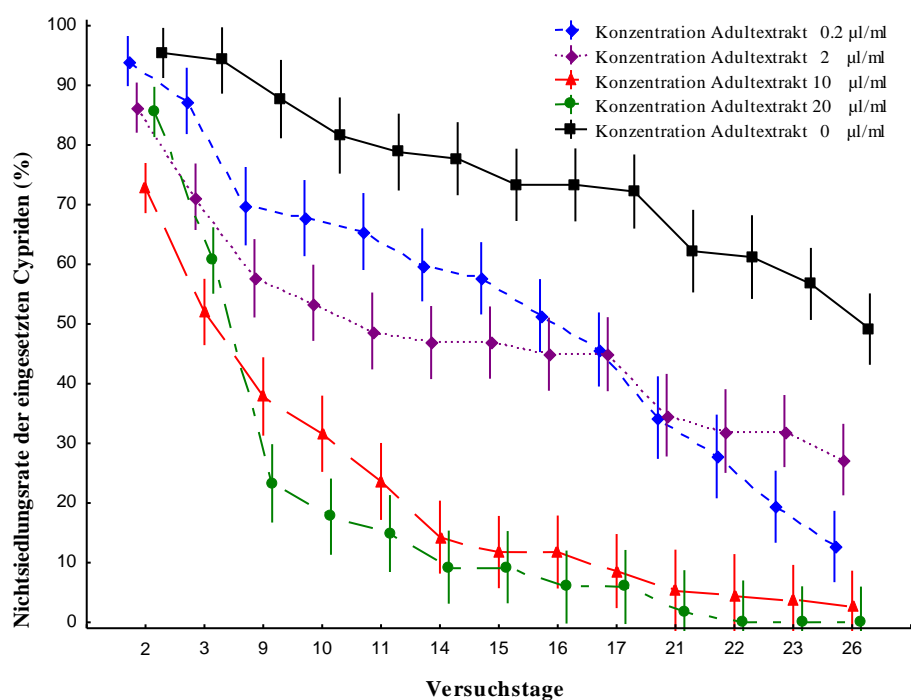
Grafik 4: Mortalitätsraten der eingesetzten Cypriden von *A. improvisus* unter verschiedenen Konzentrationen des Adultextrakts (Mittelwerte \pm Konfidenzintervalle). Signifikante Differenzen sind durch kleine Buchstaben gekennzeichnet (Tukey's Test, $\alpha \leq 0.01$).

4.1.3. Nichtsiedlungsrate bei verschiedenen Konzentrationen des Adultextrakts

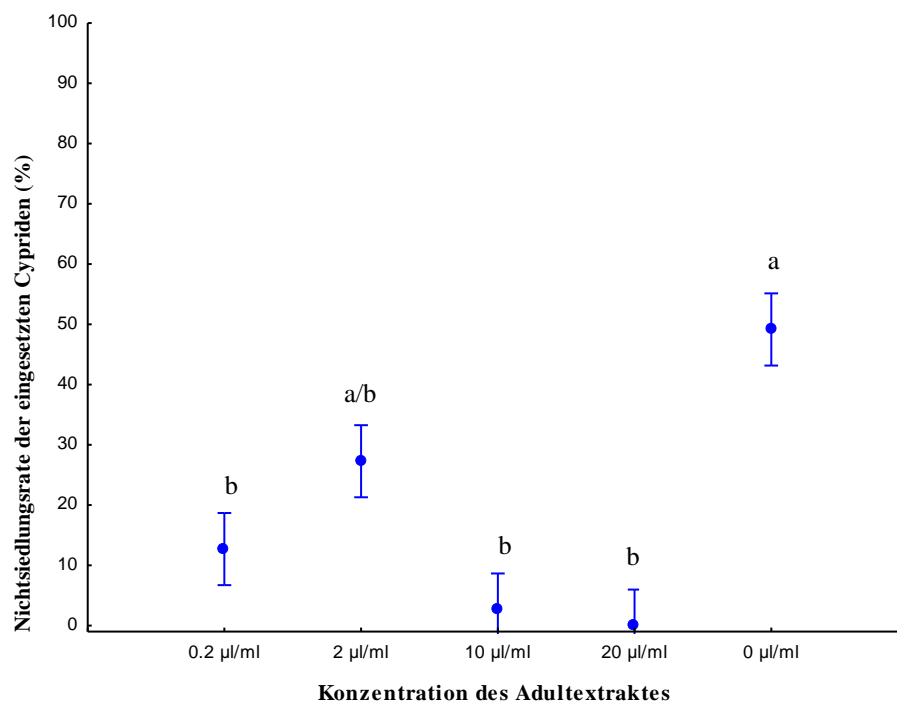
Die Nichtsiedlungsrate beschreibt, wie viele Cypridenlarven bis zur Beendigung des Experiments weder gestorben sind noch gesiedelt haben.

Die Anzahl der nicht gesiedelten Cypriden bei verschiedenen Konzentrationen des Adultextrakts während des Experiments werden in Grafik 5 präsentiert.

Die Nichtsiedlungsrate der eingesetzten Cypriden ging bei der Kontrolle sehr langsam zurück. Der stetige Abfall der Nichtsiedlungsrate endete bei 45 % der eingesetzten Cypriden. Am Ende des Experiments lag die Nichtsiedlungsrate bei den zwei Konzentrationen 0,2 µl/ml und 2 µl/ml unter 40 % der eingesetzten Cypriden. Zudem war die Nichtsiedlungsrate sehr niedrig bei einer Konzentration von 10 µl/ml (ca. 5%) und bei 20 µl/ml lag sie bei 0 %. Der Post Hoc Tukey's Test beweist die signifikanten Unterschiede zwischen der 0 µl/ml Konzentration und den 0,2 µl/ml, 10 µl/ml, 20 µl/ml Konzentrationen (Tabelle 4 / Graphik 6).



Grafik 5: Effekt des Adultextrakts auf die Nichtsiedlungsrate von *A. improvisus* bei verschiedenen Konzentrationen während des Experiments (Mittelwert \pm Standardfehler, der bei Werten außerhalb des 0 - 100 Bereichs nicht dargestellt ist).



Grafik 6: Nichtsiedlungsrate von *A. improvisus* unter verschiedenen Konzentrationen des Adultextrakts (Mittelwerte \pm Konfidenzintervalle). Signifikante Differenzen sind durch kleine Buchstaben gekennzeichnet (Tukey's Test, $\alpha \leq 0,01$).

Tabelle 1: Repeated Measures ANOVA zeigt den Effekt von Adultextrakt auf die Siedlungs-, Mortalitäts- und Nichtsiedlungsrate von *A. improvisus* während des Experiments.

Raten	df	Ms	F	P
Siedlungsrate				
Konzentration	4	26200,5	35,106	0,014091
Tag	12	5639,9	643,623	0,000000
Konzentration*Tag	48	178,2	20.340	0,000000
Mortalitätsrate				
Konzentration	4	27125,2	629,749	0,000411
Tag	12	5315,6	4625,725	0,000000
Konzentration*Tag	48	596,1	518,742	0,000000
Nichtsiedlungsrate				
Konzentration	4	70764	239,606	0,000000
Tag	12	19572	1172,323	0,000000
Konzentration * Tag	48	652	39,050	0,000018

Fett gedruckte Werte sind signifikant $p < 0,01$

Tabelle 2: One Way ANOVA stellt den Effekt des Adultextrakts auf Siedlungs-, Mortalitäts- und Nichtsiedlungsrate von *A. improvisus* vom letzten Tag des Experiments da.

Effekt	SS	df	MS	F	P
Konzentration (Siedlungsrate)	10807,29	4	2701,82	36,864	0,011139
Konzentration (Mortalitätsrate)	9866,83	4	2466,71	39,964	0,007386
Konzentration (Nichtsiedlungsrate)	16424,94	4	4106,24	1146,513	0,000002

Fett gedruckte Werte sind signifikant $p < 0,01$

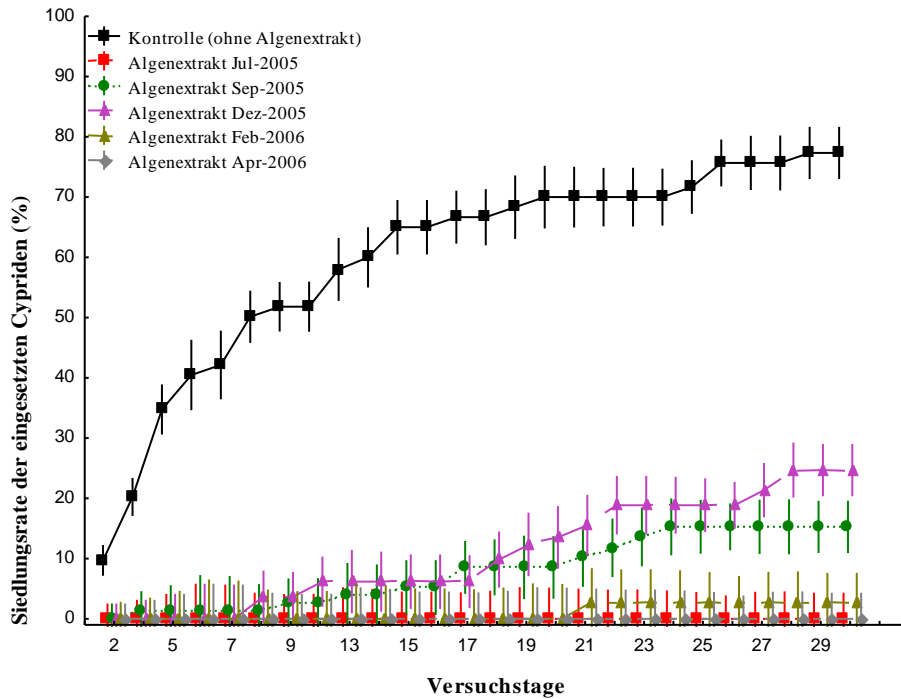
4.2. Effekte von Algenextrakten auf Seepockenbesiedlung

4.2.1. Ergebnisse vom Standort Hubertsberg

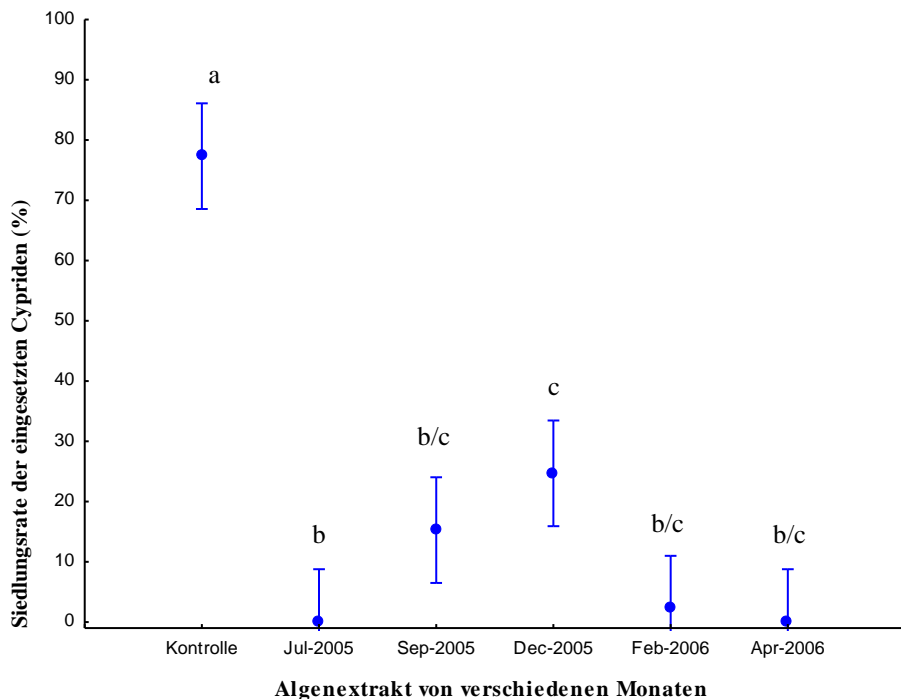
4.2.1.1. Siedlung bei *F. vesiculosus* Extrakt aus Hubertsberg

Der Antifoulingeffekt der Algenextrakte von *F. vesiculosus* auf die Siedlung der Seepocken wird in Grafik 7 gezeigt.

Die höchste Siedlungsrate der im Experiment eingesetzten Cypriden wurde mit ca. 70 % bei der Kontrolle beobachtet. Die höchsten Siedlungsraten von bis zu 70 % konnten unter Kontrollbedingungen (d.h. ohne jegliche Extrakt Zugabe) beobachtet werden, wobei Extrakte der Monate Juli (2005) und April (2006) eine Siedlung der Cypridenlarven gänzlich hemmten. Vergleicht man die Algenextrakte untereinander, zeigten die Cyprislarven die höchste Siedlungsrate von 20 % beim Algenextrakt vom Dezember (2005). Die Siedlungsrate lag beim Algenextrakt vom September (2005) bei ca. 15 %. Der Post Hoc Tukey's Test vom letzten Tag des Experiments zeigt, dass es einen signifikanten Unterschied zwischen den Siedlungsraten bei den Algenextrakten der verschiedenen Monate und der Kontrolle gab. Zudem wurde ein signifikanter Unterschied zwischen den Siedlungsraten bei den Algenextrakten vom Juli 2005 und Dezember 2005 festgestellt. Nachgewiesen wurde auch ein signifikanter Unterschied zwischen den Ergebnissen bei den Algenextrakten vom Dezember 2005 und von Februar / April 2006 (Tabelle 4 / Grafik 8).



Grafik 7: Siedlungsraten von *A. improvisus* in Abhängigkeit von Algenextrakten aus fünf verschiedenen Monaten im Zeitraum Juli 2005 – April 2006 von *F. vesiculosus* (Hubertsberg) (Mittelwert \pm Standardfehler, der bei Werten außerhalb des 0 - 100 Bereichs nicht dargestellt ist).

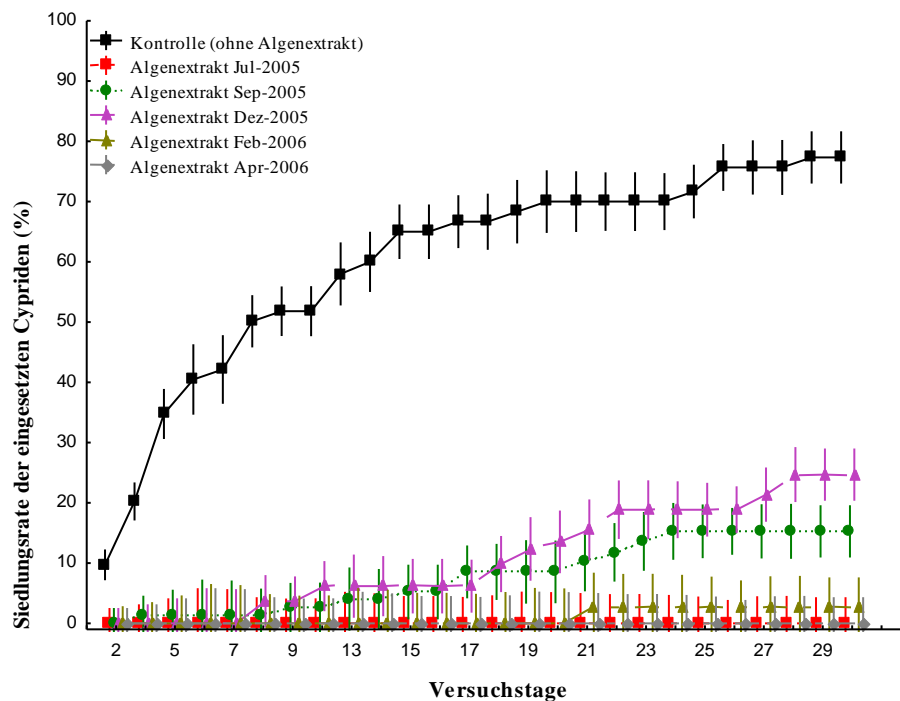


Grafik 8: Siedlungsraten von *A. improvisus* in Abhängigkeit von Algenextrakten aus fünf verschiedenen Monaten im Zeitraum Juli 2005 – April 2006 von *F. vesiculosus* (Hubertsberg). (Mittelwerte \pm Konfidenzintervalle, die bei Werten außerhalb des 0 - 100 Bereichs nicht dargestellt sind). Signifikante Differenzen sind durch kleine Buchstaben gekennzeichnet (Tukey's Test, $\alpha \leq 0,01$).

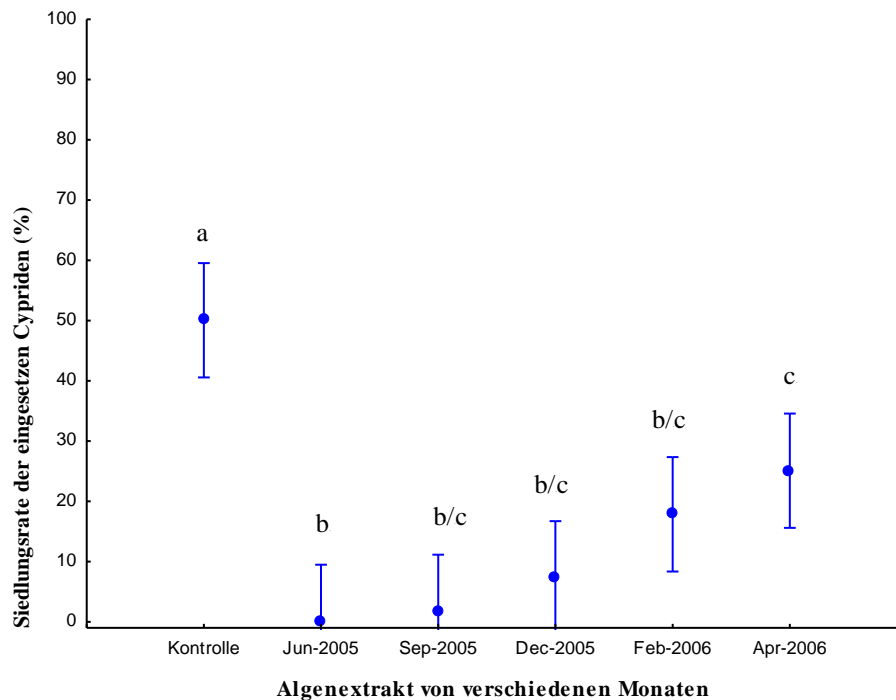
4.2.1.2. Siedlung bei *F. serratus* Extrakten aus Hubertsberg

Der Antifoulingeffekt der Algenextrakte von *F. serratus* auf das Siedeln von *A. improvisus* ist in Grafik 9 dargestellt.

In der Kontrolle wurde mit ca. 50 % die höchste Siedlungsrate erreicht. Es gab keine Siedlung beim Algenextrakt vom Juni 2005. Die höchste Siedlungsrate wurde mit 30 % bei dem Algenextrakt vom April 2006 beobachtet. Der Post Hoc Tukey's Test vom letzten Tag des Experiments zeigte, dass es eine signifikante Differenz bei der Siedlung zwischen Wells mit Algenextrakt und der Kontrolle gab. Zudem wurde ein signifikanter Unterschied zwischen den Siedlungsraten bei den Algenextrakten vom Juni 2005 und vom April 2006 festgestellt (Tabelle 4 / Grafik 10).



Grafik 9: Siedlungsraten von *A. improvisus* in Abhängigkeit von Algenextrakten aus fünf verschiedenen Monaten im Zeitraum Juni 2005 – April 2006 von *F. serratus* (Hubertsberg) (Mittelwert \pm Standardfehler, der bei Werten außerhalb des 0 - 100 Bereichs nicht dargestellt ist)

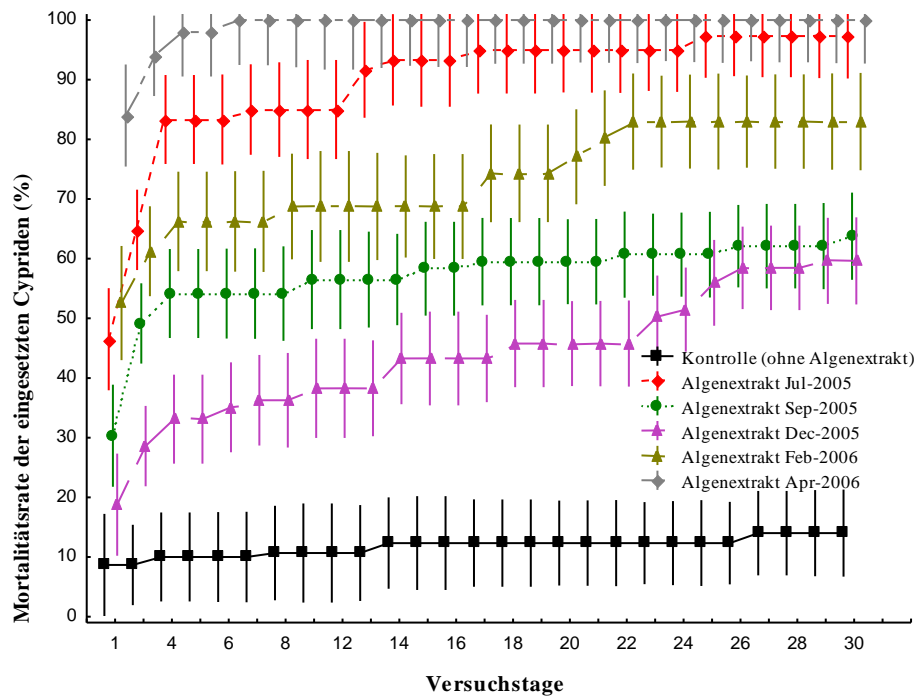


Grafik 10: Siedlungsraten von *A. improvisus* in Abhängigkeit von Algenextrakten aus fünf verschiedenen Monaten im Zeitraum Juni 2005 – April 2006 von *F. serratus* (Hubertsberg) (Mittelwerte \pm Konfidenzintervalle, die bei Werten außerhalb des 0 - 100 Bereichs nicht dargestellt sind). Signifikante Differenzen sind durch kleine Buchstaben gekennzeichnet (Tukey's Test, $\alpha \leq 0,01$).

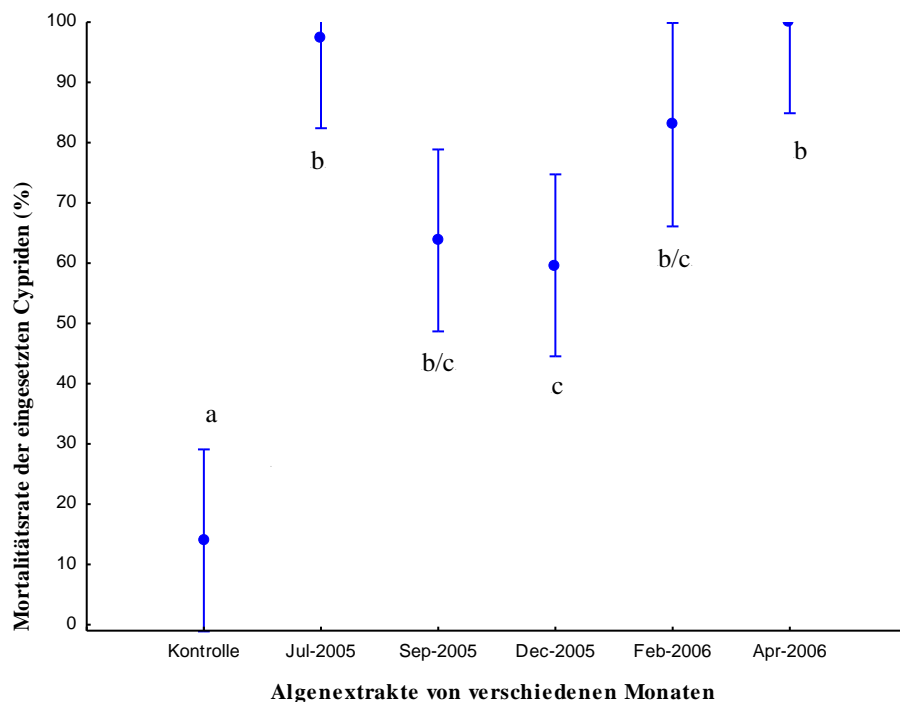
4.2.1.3. Mortalität bei *F. vesiculosus* Extrakten aus Hubertsberg

Der Antifoulingeffekt der Algenextrakte von *F. vesiculosus* auf die Mortalität von *A. improvisus* ist in Grafik 11 gezeigt.

In diesem Experiment war die Mortalitätsrate von *A. improvisus* sehr hoch. Am Anfang des Experiments stieg die Mortalitätsrate sehr stark. Die Mortalitätsrate der Cypriden in der Kontrolle war mit 25 % die Niedrigste. Die höchste Mortalitätsrate wurde bei den Algenextrakten aus den Monaten Juli 2005 und April 2006 mit ca. 100% festgestellt. In den anderen Monaten lag die Mortalitätsrate zwischen 50 und 80 %. Der Post Hoc Tukey's Test der One Way ANOVA vom letzten Tag des Experiments zeigt, dass es einen signifikanten Unterschied zwischen den Algenextrakten und der Kontrolle gab. Es wurde eine signifikant höhere Mortalitätsrate bei dem Algenextrakt vom Juli 2005 im Vergleich zu dem Extrakt von Dezember 2005 beobachtet. Außerdem gab es einen signifikanten Unterschied zwischen der Mortalitätsrate beim Algenextrakt von Dezember 2005 und April 2006 (Tabelle 4 / Grafik 12).



Grafik 11: Mortalitätsraten von *A. improvisus* in Abhängigkeit von Algenextrakten aus fünf verschiedenen Monaten im Zeitraum Juli 2005 – April 2006 von *F. vesiculosus* (Hubertsberg) (Mittelwert \pm Standardfehler, der bei Werten außerhalb des 0 - 100 Bereichs nicht dargestellt ist).

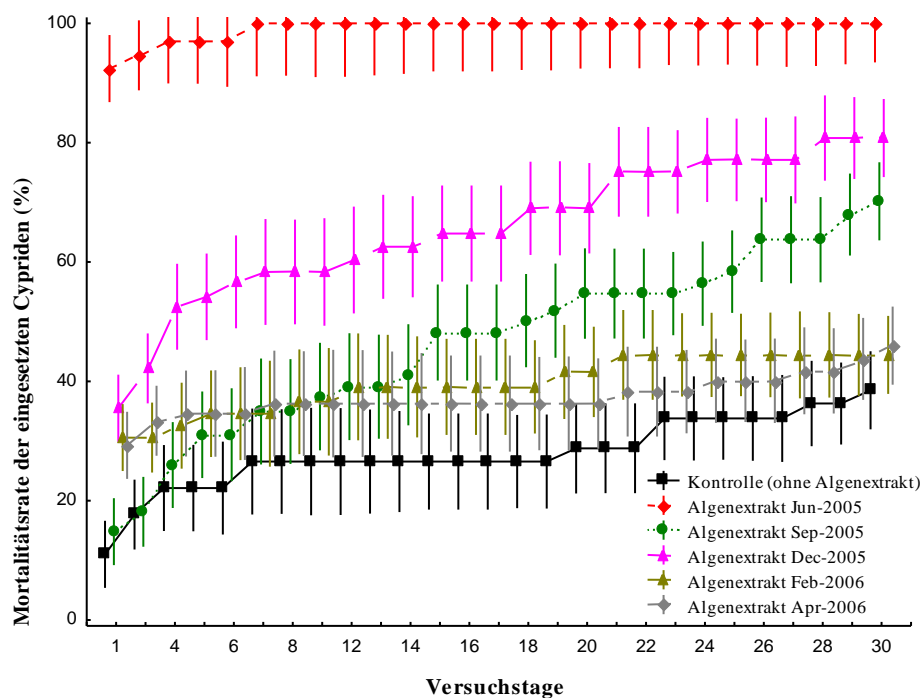


Grafik 12: Mortalitätsraten von *A. improvisus* in Abhängigkeit von Algenextrakten aus fünf verschiedenen Monaten im Zeitraum Juli 2005 – April 2006 von *F. vesiculosus* (Hubertsberg) (Mittelwerte \pm Konfidenzintervalle, die bei Werten außerhalb des 0 - 100 Bereichs nicht dargestellt sind). Signifikante Differenzen sind durch kleine Buchstaben gekennzeichnet (Tukey's Test, $\alpha \leq 0,01$).

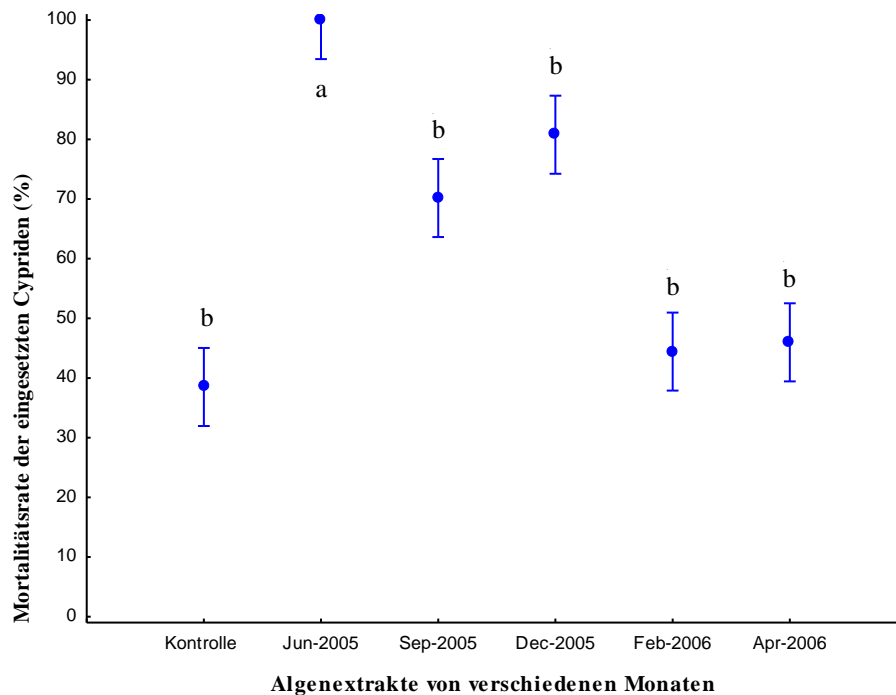
4.2.1.4. Mortalität bei *F. serratus* Extrakten aus Hubertsberg

Der Antifoulingeffekt der Algenextrakte von *F. serratus* auf die Mortalität von *A. improvisus* ist in Grafik 13 abgebildet.

Auch bei den Algenextrakten von *F. serratus* war die Mortalitätsrate sehr hoch. Am Anfang des Experiments stieg die Mortalitätsrate langsamer als bei den Algenextrakten von *F. vesiculosus*. Die Mortalitätsrate der Cypriden war mit 25 % die Geringste in der Kontrolle. Die höchste Mortalitätsrate gab es beim Algenextrakt aus dem Juni 2005 mit 100 %. Bei den Algenextrakten aus den anderen Monaten lag die Mortalitätsrate zwischen 40 und 80 %. Der Post Hoc Tukey's Test zeigte, dass es einen signifikanten Unterschied zwischen der Mortalitätsrate des Algenextrakts vom Juni 2005 im Vergleich zu allen Algenextrakten aus den anderen Monaten gab (Tabelle 4 / Grafik 14).



Grafik 13: Mortalitätsraten von *A. improvisus* in Abhängigkeit von Algenextrakten aus fünf verschiedenen Monaten im Zeitraum Juni 2005 – April 2006 von *F. serratus* (Hubertsberg) (Mittelwerte \pm Konfidenzintervalle). (Mittelwert \pm Standardfehler, der bei Werten außerhalb des 0 - 100 Bereichs nicht dargestellt ist).



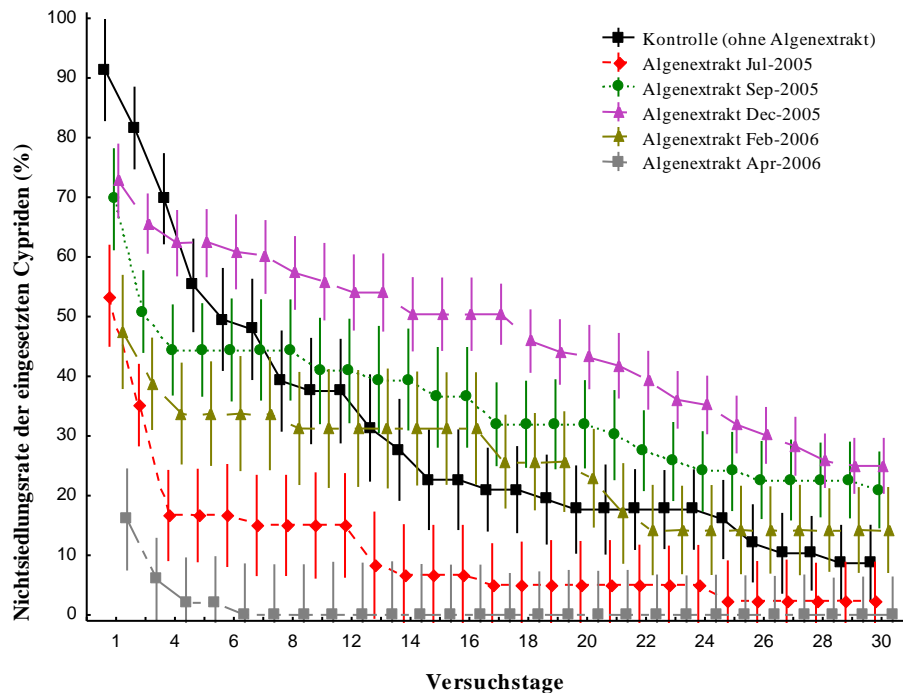
Grafik 14: Mortalitätsraten von *A. improvisus* in Abhängigkeit von Algenextrakten aus fünf verschiedenen Monaten im Zeitraum Juni 2005 – April 2006 von *F. serratus* (Hubertsberg). (Mittelwerte \pm Konfidenzintervalle, die bei Werten außerhalb des 0 - 100 Bereichs nicht dargestellt sind). Signifikante Differenzen sind durch kleine Buchstaben gekennzeichnet (Tukey's Test, $\alpha = 0,01$).

4.2.1.5. Nichtsiedlungsrate bei *F. vesiculosus* Extrakten aus Hubertsberg

Die Nichtsiedlungsrate von *A. improvisus* auf den Algenextrakten von *F. vesiculosus* wird in Grafik 15 dargestellt.

Im Allgemeinen siedelten die Cypriden graduell über die gesamte Zeit des Experiments; dadurch nahm die Zahl der nicht siedelnden Cypriden ab. Beim Einsatz des Algenextrakts vom Dezember 2005 war der höchste Prozentsatz nicht gesiedelter Cypriden festzustellen. Die niedrigste Nichtsiedlungsrate wurde bei Algenextrakten der Monate Juli 2005 und April 2006 nachgewiesen. Die Nichtsiedlungsrate in den anderen Monaten lag am Ende des Experiments zwischen 10 und 20 %.

Es gab keine signifikanten Differenzen zwischen den Nichtsiedlungsraten der verschiedenen Algenextrakte am letzten Tag des Experiments (Tabelle 4 / Grafik 16).

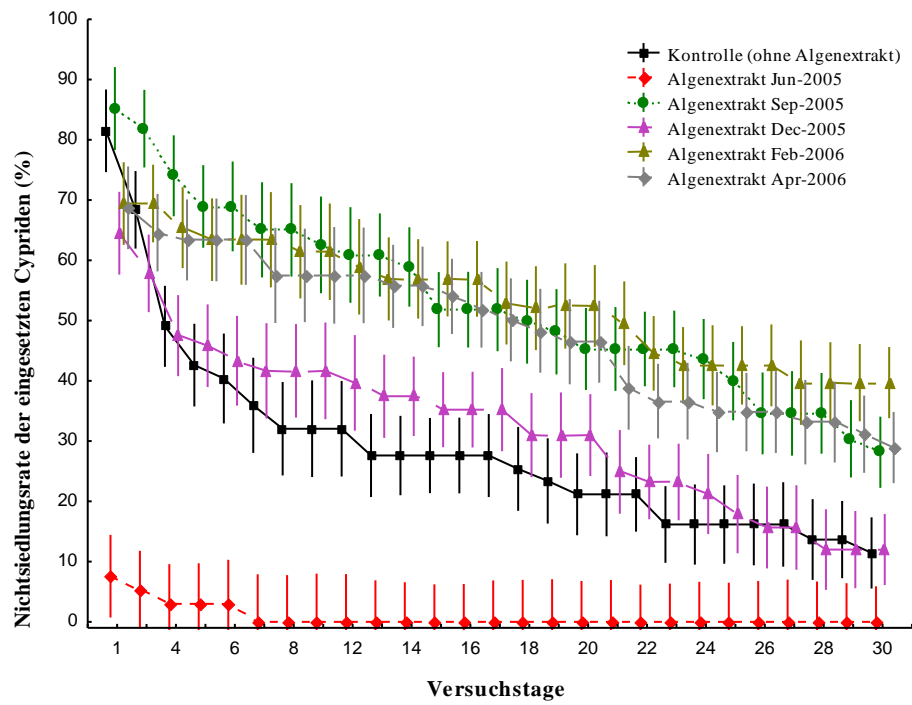


Grafik 15: Nichtsiedlungsraten von *A. improvisus* in Abhängigkeit von Algenextrakten aus fünf verschiedenen Monaten im Zeitraum Juli 2005 – April 2006 von *F. vesiculosus* (Hubertsberg) (Mittelwert \pm Standardfehler, der bei Werten außerhalb des 0 - 100 Bereichs nicht dargestellt ist).

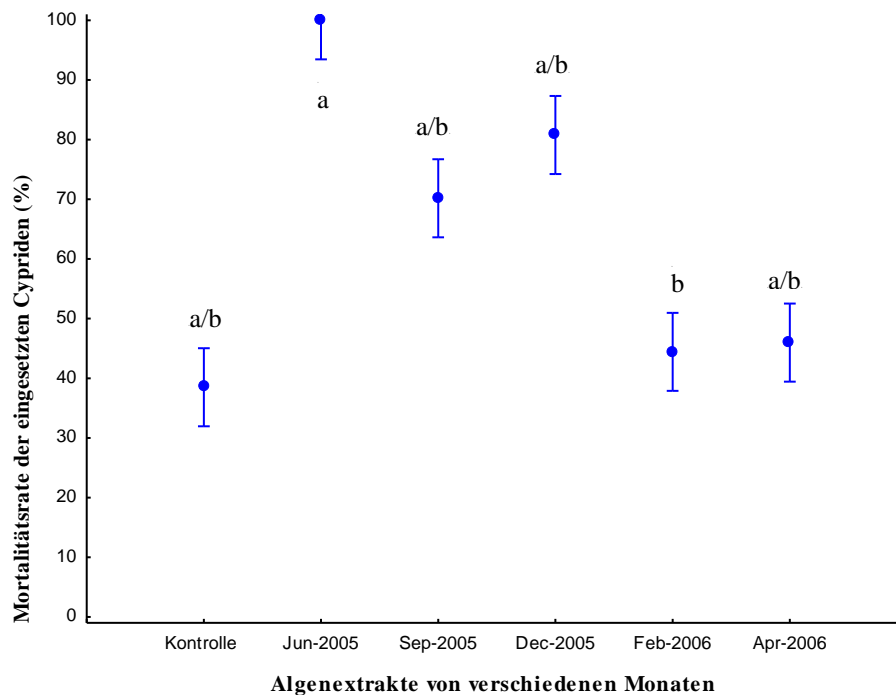
4.2.1.6. Nichtsiedlungsrate bei *F. serratus* Extrakten aus Hubertsberg

Die Nichtsiedlungsrate von *A. improvisus* bei Algenextrakten von *F. serratus* wird in Grafik 16 gezeigt.

Die höchste Nichtsiedlungsrate wurde beim Algenextrakt vom Februar 2006 festgestellt. Die niedrigste Nichtsiedlungsrate mit 0 % war beim Algenextrakt vom Juni 2005 zu verzeichnen, da dort die meisten Cypriden in den ersten Tagen gestorben waren. Die Nichtsiedlungsraten bei den Algenextrakten der anderen Monate lagen am Ende des Experiments zwischen 10 und 20 %. Die Daten des Post Hoc Tukey's Tests vom letzten Tag des Experiments stellten heraus, dass es signifikante Unterschiede zwischen der Nichtsiedlungsrate beim Algenextrakt vom Juni 2005 im Vergleich zum Algenextrakt vom Februar 2006 gab (Tabelle 4 / Grafik 18).



Grafik 17: Nichtsiedlungsraten von *A. improvisus* in Abhängigkeit von Algenextrakten aus fünf verschiedenen Monaten im Zeitraum Juni 2005 – April 2006 von *F. serratus* (Hubertsberg) (Mittelwert \pm Standardfehler, der bei Werten außerhalb des 0 - 100 Bereichs nicht dargestellt ist).



Grafik 18: Nichtsiedlungsraten von *A. improvisus* in Abhängigkeit von Algenextrakten aus fünf verschiedenen Monaten im Zeitraum Juni 2005 – April 2006 von *F. serratus* (Hubertsberg). (Mittelwerte \pm Konfidenzintervalle, die bei Werten außerhalb des 0 - 100 Bereichs nicht dargestellt sind). Signifikante Differenzen sind durch kleine Buchstaben gekennzeichnet (Tukey's Test, $\alpha \leq 0,01$).

Tabelle 3: Repeated Measures ANOVA zeigt die Siedlungs-, Mortalitäts- und Nichtsiedlungsraten von *A. improvisus* auf *F. vesiculosus* und *F. serratus* über die Periode des Experiments.

Effekt	SS	df	MS	F	P
<i>Fucus vesiculosus</i>					
Monate (Siedlung)	21833,15	5	4366,63	464,586	0,000000
Monate (Mortalität)	25347,60	5	5069,50	190,282	0,000000
Monate (Nichtsiedlungsrate)	1621,06	5	324,21	156,249	0,210200
<i>Fucus serratus</i>					
Monate (Siedlung)	8892,91	5	1778,58	1682,194	0,000000
Monate (Mortalität)	14853,90	5	2970,80	138,930	0,000002
Monate (Nichtsiedlungsrate)	5360,69	5	1072,14	614,824	0,000841

Fett gedruckte Werte sind signifikant $p \leq 0,01$

Tabelle 4: One Way ANOVA zeigt die Siedlungs-, Mortalitäts- und nicht Siedlungsrate von *A. improvisus* auf *F. vesiculosus* und *F. serratus* vom letzten Tag des Experiments.

Raten	df	Ms	F	P
Siedlungsrate von <i>Fucus vesiculosus</i>				
Monate	5	36890,8	2188,807	0,000000
Tage	26	611,5	2504,106	0,000000
Monate * Tag	130	133,7	547,553	0,000000
Siedlungsrate von <i>Fucus serratus</i>				
Monate	5	69309,8	3264,303	0,000000
Tage	25	802,8	3176,063	0,000000
Monate * Tage	125	252,2	997,629	0,000000
Mortalitätsrate von <i>Fucus vesiculosus</i>				
Monate	5	92358	135,053	0,000003
Tage	26	1346	279,747	0,000000
Monate*Tage	130	151	31,354	0,000605
Mortalitätsrate von <i>Fucus serratus</i>				
Monate	5	137985	207,780	0,000000
Tage	26	1199	346,292	0,000000
Monate*Tage	130	107	30,766	0,000138
Nichtsiedlungsrate von <i>Fucus vesiculosus</i>				
Monate	5	55109	116,137	0,000009
Tage	26	3753	594,627	0,000000
Monate*Tag	130	189	29,952	0,000000
Nichtsiedlungsrate von <i>Fucus serratus</i>				
Monate	5	36097,1	576,326	0,001369
Tage	26	4185,0	6782,160	0,000000
Monate*Tage	130	324,2	525,353	0,000162

Fett gedruckte Werte sind signifikant $p \leq 0,01$

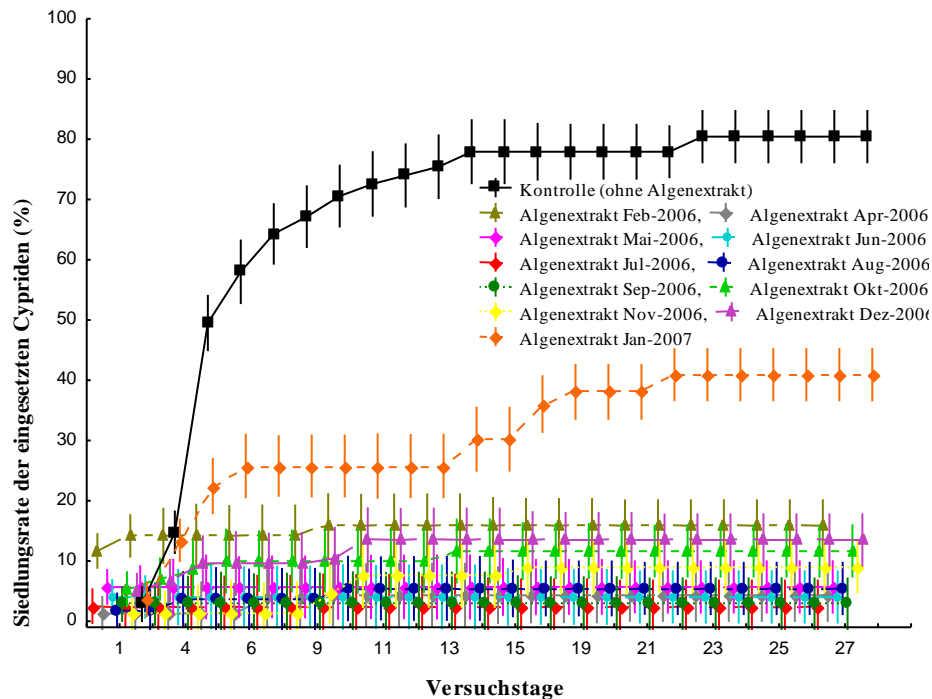
4.2.2. Ergebnisse am Standort Aschau

4.2.2.1. Siedlung bei *F. vesiculosus* Extrakten aus Aschau

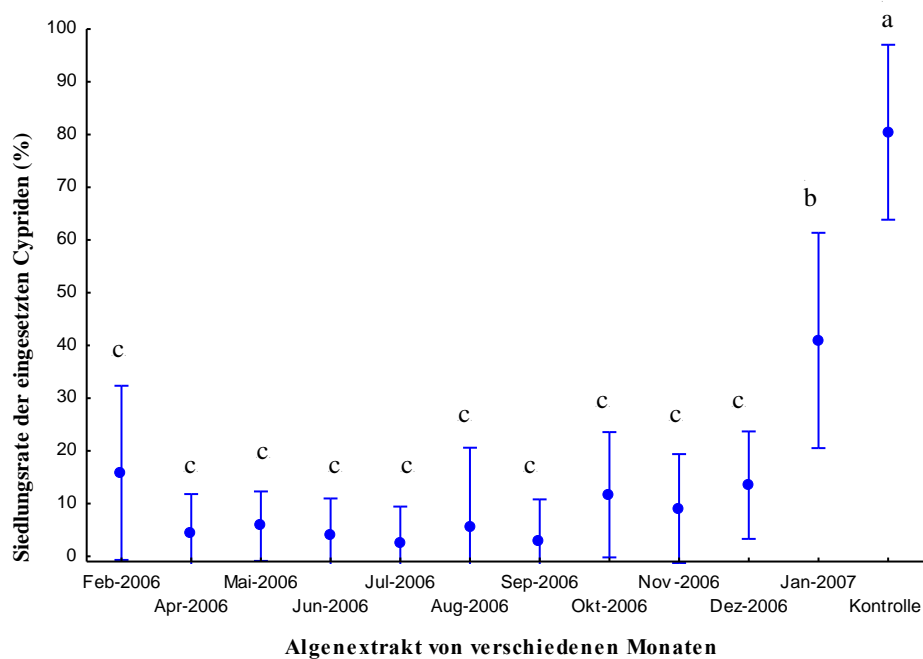
Der Antifoulingeffekt der Algenextrakte von *F. vesiculosus* auf die Seepockenbesiedlung wird in Grafik 19 dargestellt.

Die höchste Siedlungsrate der Cypriden wurde mit ca. 80 % bei der Kontrolle beobachtet. Es gab eine geringere Siedlung von etwa 5 % bei den Algenextrakten aus den Monaten Mai, Juni, Juli, August und September 2006. Die mit über 40 % höchste Siedlungsrate wurde beim Algenextrakt vom Januar 2007 festgestellt. Bei den Algenextrakten vom Februar, Oktober, November und Dezember 2006 lagen die Siedlungsraten am

Ende des Experiments zwischen 10 und 15 %. Der Post Hoc Tukey's Test vom letzten Tag des Experiments zeigte, dass es einen signifikanten Unterschied zwischen den Siedlungsraten bei den Algenextrakten der verschiedenen Monate und der Kontrolle gab. Zudem wurde ein signifikanter Unterschied zwischen den Siedlungsraten mit den Algenextrakten vom Januar 2007 und den übrigen Monaten festgestellt (Tabelle 6 / Grafik 20).



Grafik 19: Siedlungsraten von *A. improvisus* in Abhängigkeit von Algenextrakten aus elf verschiedenen Monaten im Zeitraum Februar 2006 – Januar 2007 von *F. vesiculosus* (Aschau) (Mittelwert \pm Standardfehler, der bei Werten außerhalb des 0 - 100 Bereichs nicht dargestellt ist)

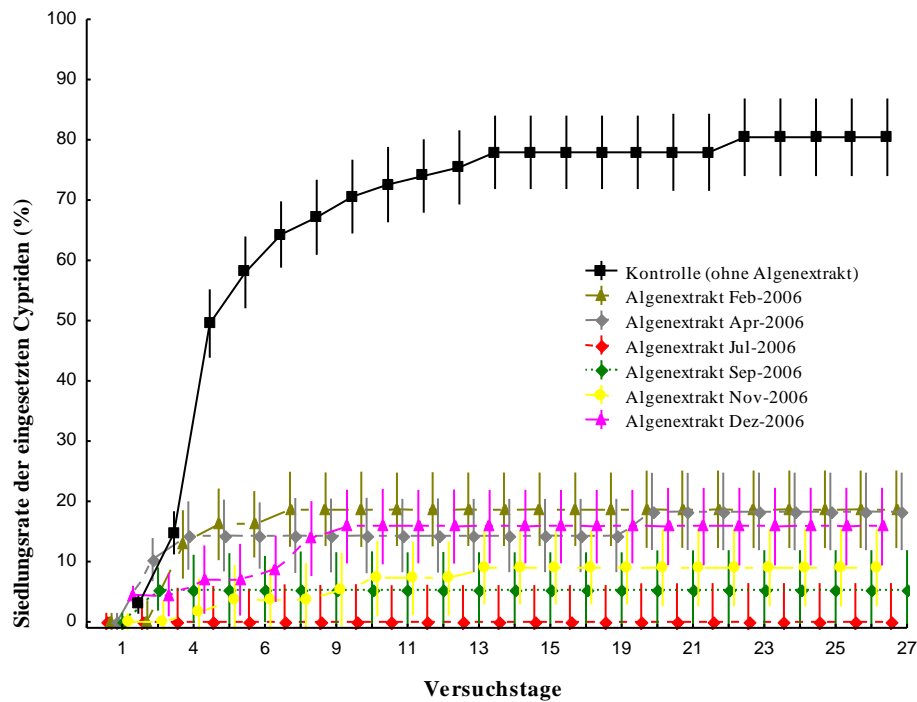


Grafik 20: Siedlungsraten von *A. improvisus* in Abhängigkeit von Algenextrakten aus elf verschiedenen Monaten im Zeitraum Februar 2006 – Januar 2007 von *F. vesiculosus* (Aschau) (Mittelwerte \pm Konfidenzintervalle, die bei Werten außerhalb des 0 - 100 Bereichs nicht dargestellt sind). Signifikante Differenzen sind durch kleine Buchstaben gekennzeichnet (Tukey's Test, $\alpha \leq 0,01$).

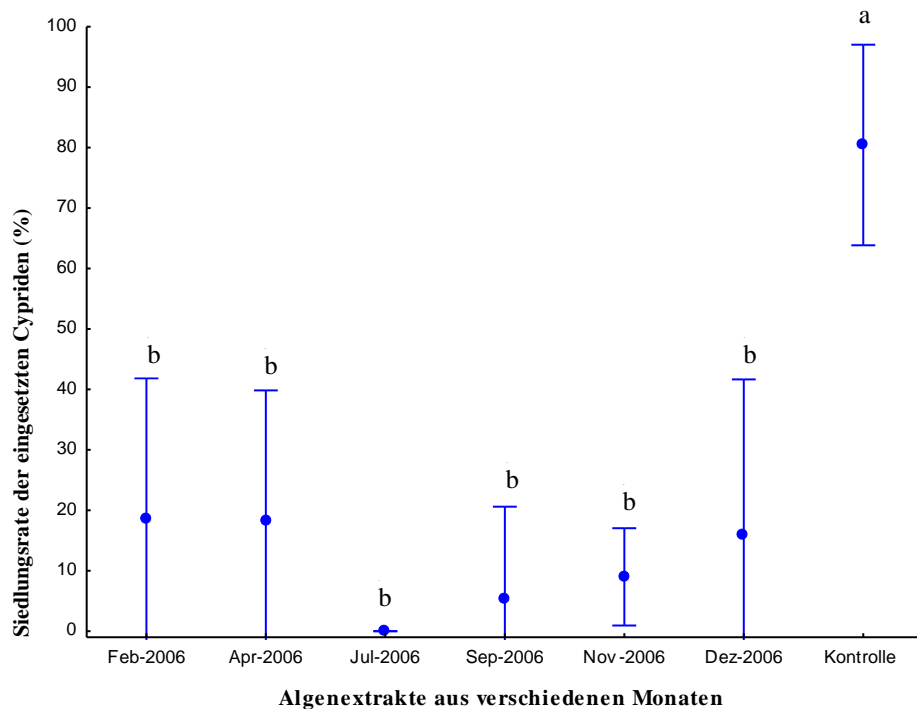
4.2.2.2. Siedlung bei *F. serratus* Extrakten aus Aschau

Der Antifoulingeffekt der Algenextrakte von *F. serratus* auf das Siedeln von *A. improvisus* ist in Grafik 21 dargestellt.

In der Kontrolle wurde mit ca. 80 % die höchste Siedlungsrate erreicht. Es gab keine Siedlung beim Algenextrakt vom Juli 2006. Die höchste Siedlungsrate wurde mit 20 % beim Algenextrakt vom Februar 2006 beobachtet. Der Post Hoc Tukey's Test vom letzten Tag des Experiments ergab, dass es eine signifikante Differenz zwischen der Siedlung auf Algenextrakten und der Kontrolle gab (Tabelle 6 / Grafik 22).



Grafik 21: Siedlungsraten von *A. improvisus* in Abhängigkeit von Algenextrakten aus sechs verschiedenen Monaten im Zeitraum Februar – Dezember 2006 von *F. serratus* (Aschau) (Mittelwert \pm Standardfehler, der bei Werten außerhalb des 0 - 100 Bereichs nicht dargestellt ist).



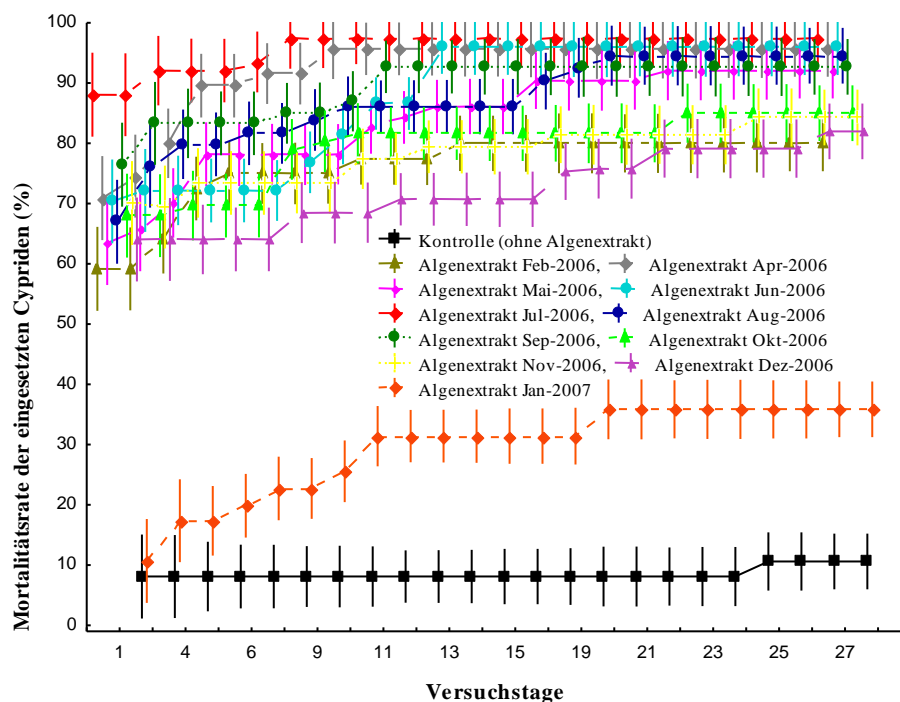
Graphik 22: Siedlungsraten von *A. improvisus* in Abhängigkeit von Algenextrakten aus sechs verschiedenen Monaten im Zeitraum Februar – Dezember 2006 von *F. serratus* (Aschau) (Mittelwerte \pm Konfidenzintervalle, die bei Werten außerhalb des 0 - 100 Bereichs nicht dargestellt sind). Signifikante Differenzen sind durch kleine Buchstaben gekennzeichnet (Tukey's Test, $\alpha \leq 0,01$).

4.2.2.3. Mortalität bei *F. vesiculosus* Extrakten aus Aschau

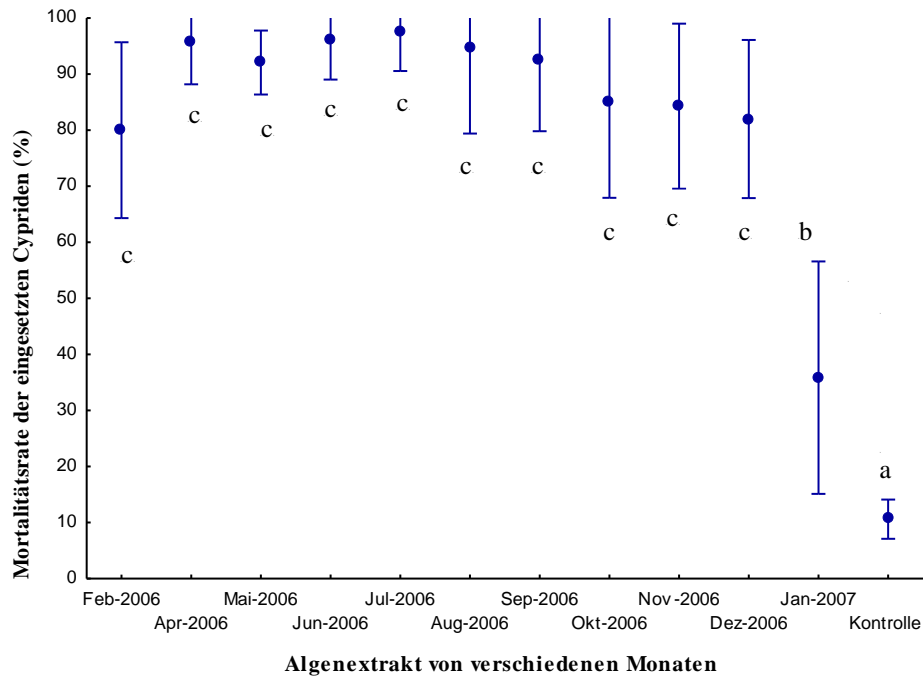
Der Antifoulingeffekt der Algenextrakte von *F. vesiculosus* auf die Mortalität von *A. improvisus* wird in Grafik 23 abgebildet.

In diesem Experiment war die Mortalitätsrate sehr hoch. Am Anfang des Experiments stieg sie stetig an. Die Mortalitätsrate der Cypriden in der Kontrolle war mit 10 % die Niedrigste, die Höchste wurde bei den Algenextrakten aus den Monaten April, Juni und Juli 2006 mit ca. 100 % festgestellt. In den anderen Monaten lag die Mortalitätsrate zwischen 80 und 90 %.

Der Post Hoc Tukey's Test der One Way ANOVA vom letzten Tag des Experiments machte deutlich, dass es einen signifikanten Unterschied zwischen den Algenextrakten und der Kontrolle gab. Es gab eine signifikant höhere Mortalitätsrate bei dem Algenextrakt vom Januar 2006 zu den Extrakten der anderen Monate (Tabelle 6 / Grafik 24).



Grafik 23: Mortalitätsraten von *A. improvisus* in Abhängigkeit von Algenextrakten aus elf verschiedenen Monaten im Zeitraum Februar 2006 – Januar 2007 von *F. vesiculosus* (Aschau) (Mittelwert \pm Standardfehler, der bei Werten außerhalb des 0 - 100 Bereichs nicht dargestellt ist).

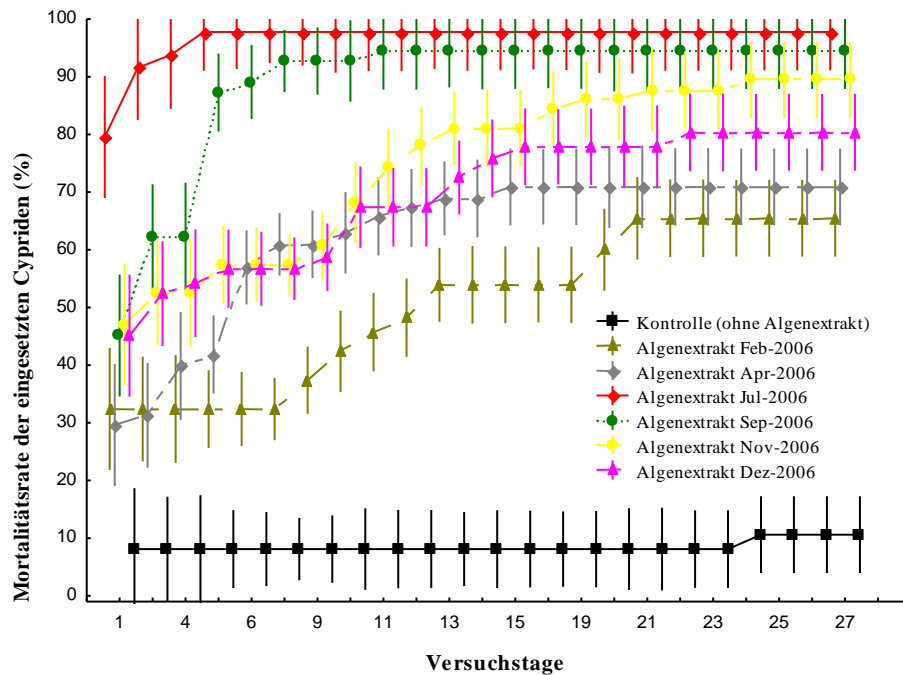


Grafik 24: Mortalitätsraten von *A. improvisus* in Abhängigkeit von Algenextrakten aus elf verschiedenen Monaten im Zeitraum Februar 2006 – Januar 2007 von *F. vesiculosus* (Aschau) (Mittelwerte \pm Konfidenzintervalle, die bei Werten außerhalb des 0 - 100 Bereichs nicht dargestellt sind). Signifikante Differenzen sind durch kleine Buchstaben gekennzeichnet (Tukey's Test, $\alpha \leq 0,01$).

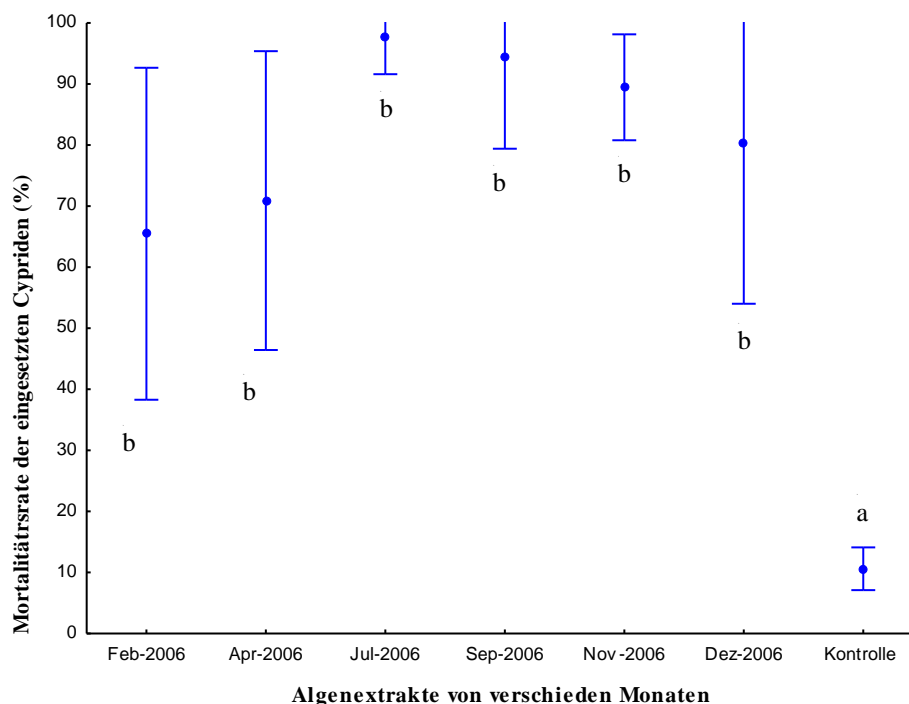
4.2.2.4. Mortalität bei *F. serratus* Extrakten aus Aschau

Der Antifoulingeffekt der Algenextrakte von *F. serratus* auf die Mortalität von *A. improvisus* wird in Grafik 25 dargestellt.

Auch bei den Algenextrakten von *F. serratus* war die Mortalitätsrate sehr hoch. Am Anfang des Experiments stieg diese langsamer als bei den Algenextrakten von *F. vesiculosus*. Die Mortalitätsrate der Cypriden in der Kontrolle war mit 10 % die Geringste, die Höchste wurde beim Algenextrakt vom Juli 2006 mit 95 % nachgewiesen. Bei den Algenextrakten aus den anderen Monaten lag die Mortalitätsrate zwischen 60 und 90 %. Der Post Hoc Tukey's Test zeigte, dass es einen signifikanten Unterschied zwischen der Mortalitätsrate beim Algenextrakt vom Juli 2006 im Vergleich zu dem Extrakt vom Februar 2006 gab. Zudem wurde ein signifikanter Unterschied zwischen der Mortalitätsrate der Kontrolle und den Mortalitätsraten der Algenextrakte aus den verschiedenen Monaten festgestellt (Tabelle 6 / Grafik 26).



Grafik 25: Mortalitätsraten von *A. improvisus* in Abhängigkeit von Algenextrakten aus sechs verschiedenen Monaten im Zeitraum Februar – Dezember 2006 von *F. serratus* (Aschau) (Mittelwert \pm Standardfehler, der bei Werten außerhalb des 0 - 100 Bereichs nicht dargestellt ist).

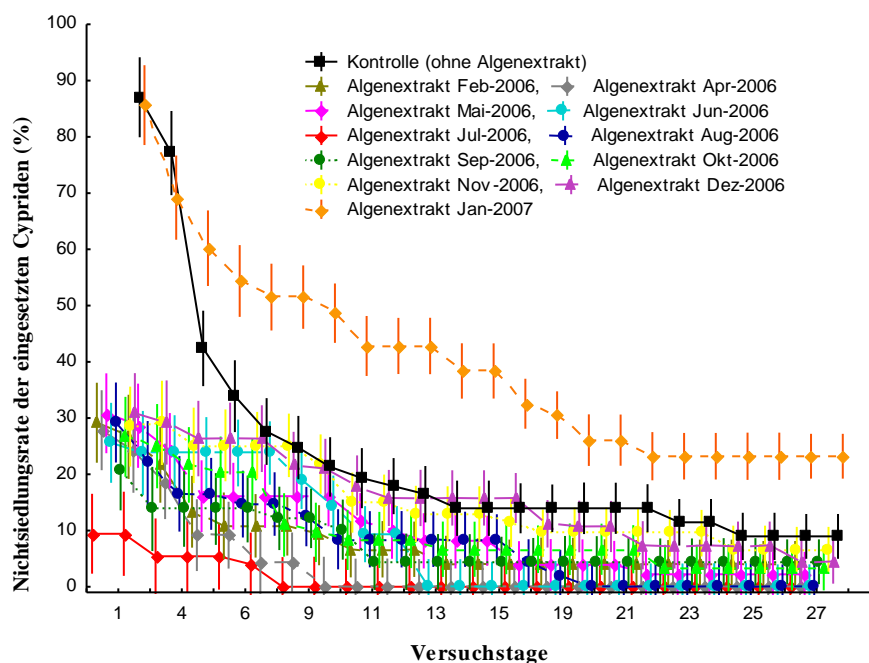


Grafik 26: Mortalitätsrate von *A. improvisus* in Abhängigkeit von Algenextrakten aus sechs verschiedenen Monaten im Zeitraum Februar – Dezember 2006 von *F. serratus* (Aschau). (Mittelwerte \pm Konfidenzintervalle, die bei Werten außerhalb des 0 - 100 Bereichs nicht dargestellt sind). Signifikante Differenzen sind durch kleine Buchstaben gekennzeichnet (Tukey's Test, $\alpha \leq 0,01$).

4.2.2.5. Nichtsiedlungsrate bei *F. vesiculosus* Extrakten aus Aschau

Die Nichtsiedlungsrate von *A. improvisus* auf den Algenextrakten von *F. vesiculosus* wird in Graphik 27 abgebildet.

Im Allgemeinen siedelten die Cypriden graduell über die gesamte Zeit des Experiments; da durch nahm die Zahl der nicht siedelnden Cypriden ab. Beim Einsatz des Algenextrakts vom Januar 2006 wurde der höchste Prozentsatz nicht gesiedelter Cypriden festgestellt. Die niedrigste Nichtsiedlungsrate wurde bei den Algenextrakten aus den Monaten April, Mai, Juni, Juli und August 2006 nachgewiesen. Die Nichtsiedlungsrate in den anderen Monaten lag am Ende des Experiments zwischen 5 und 10 %. Es gab keine signifikanten Differenzen zwischen den Nichtsiedlungsraten der verschiedenen Algenextrakte am letzten Tag des Experiments (Tabelle 6).



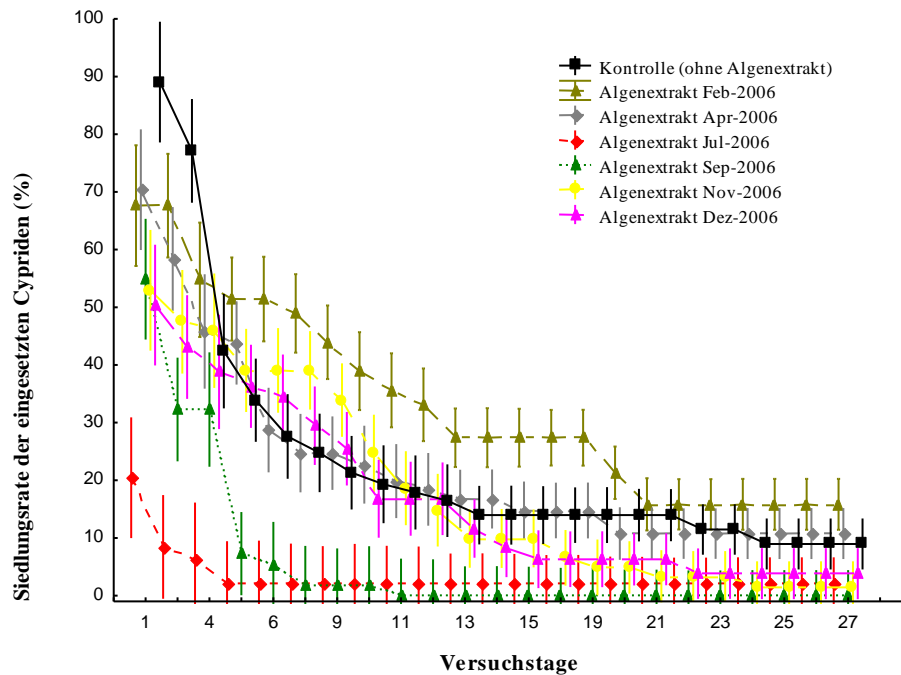
Grafik 27: Nichtsiedlungsraten von *A. improvisus* in Abhängigkeit von Algenextrakten aus elf verschiedenen Monaten im Zeitraum Februar 2006 – Januar 2007 von *F. vesiculosus* (Aschau) (Mittelwert \pm Standardfehler, der bei Werten außerhalb des 0 - 100 Bereichs nicht dargestellt ist).

4.2.2.6. Nichtsiedlungsrate bei *F. serratus* Extrakten aus Aschau

Die Nichtsiedlungsrate von *A. improvisus* auf Algenextrakten von *F. serratus* wird in Grafik 28 gezeigt.

Die höchste Nichtsiedlungsrate wurde beim Algenextrakt vom Februar 2006 nachgewiesen. Die mit 0 % niedrigste Nichtsiedlungsrate wurde beim Algenextrakt vom September 2005 verzeichnet, da dort die meisten Cypriden in den ersten Tagen gestorben waren. Die Nichtsiedlungsraten bei den Algenextrakten der anderen Monate lagen am

Ende des Experiments zwischen 5 und 20 %. Die Daten des Post Hoc Tukey's Tests vom letzten Tag des Experiments stellten heraus, dass es keine signifikanten Unterschiede zwischen den verschiedenen Proben gab (Tabelle 6).



Grafik 28: Nichtsiedlungsraten von *A. improvisus* in Abhängigkeit von Algenextrakten aus sechs verschiedenen Monaten im Zeitraum Februar – Dezember 2006 von *F. serratus* (Aschau) (Mittelwert \pm Standardfehler, der bei Werten außerhalb des 0 - 100 Bereichs nicht dargestellt ist).

Tabelle 5: One Way ANOVA zeigt die Siedlungs-, Mortalitäts- und nicht Siedlungsrate von *A. improvisus* auf *F. vesiculosus* und *F. serratus* vom letzten Tag des Experiments.

Effekt	SS	df	MS	F	P
<i>Fucus vesiculosus</i>					
Monate (Siedlung)	28486,19	11	2589,65	26,543	0,000000
Monate (Mortalität)	40609,5	11	3691,8	24,571	0,000000
Monate (Nichtsiedlungsrate)	12307,22	11	209,77	2,651	0,009764
<i>Fucus serratus</i>					
Monate (Siedlung)	21992,89	6	3665,48	17,696	0,000000
Monate (Mortalität)	26786,8	6	4464,5	20,174	0,000000
Monate (Nichtsiedlungsrate)	1014,456	6	169,08	1,7312	0,270589

Fett gedruckte Werte sind signifikant $p < 0,01$

Tabelle 6: Repeated Measures ANOVA zeigt die Siedlungs-, Mortalitäts- und Nichtsiedlungsrate von *A. improvisus* auf *F. vesiculosus* und *F. serratus* über die Periode des Experiments.

Raten	df	Ms	F	P
Siedlungsrate von <i>Fucus vesiculosus</i>				
Monate	11	41448,6	17,897	0,000000
Tage	22	649,2	49,366	0,000000
Monate * Tag	242	188,4	14,326	0,000000
Siedlungsrate von <i>Fucus serratus</i>				
Monate	6	61367,3	17,088	0,000000
Tage	22	950,0	41,220	0,000000
Monate * Tage	33360,8	252,7	10,965	0,000000
Mortalitätsrate von <i>Fucus vesiculosus</i>				
Monate	11	81666	40,306	0,000003
Tage	22	1998	46,695	0,000000
Monate*Tage	130	57	1,354	0,143980
Mortalitätsrate von <i>Fucus serratus</i>				
Monate	6	97638	26,358	0,000000
Tage	22	3034	31,903	0,000000
Monate*Tage	132	240	2,529	0,002119
Nichtsiedlungsrate von <i>Fucus vesiculosus</i>				
Monate	11	11587,4	6,332	0,000002
Tage	22	4796,4	85,487	0,000000
Monate*Tag	242	159,8	2,848	0,000018
Nichtsiedlungsrate von <i>Fucus serratus</i>				
Monate	6	61367,3	17,088	0,000000
Tage	22	950,0	41,221	0,000000
Monate*Tage	132	252,7	10,966	0,000000

Fett gedruckte Werte sind signifikant $p \leq 0,01$

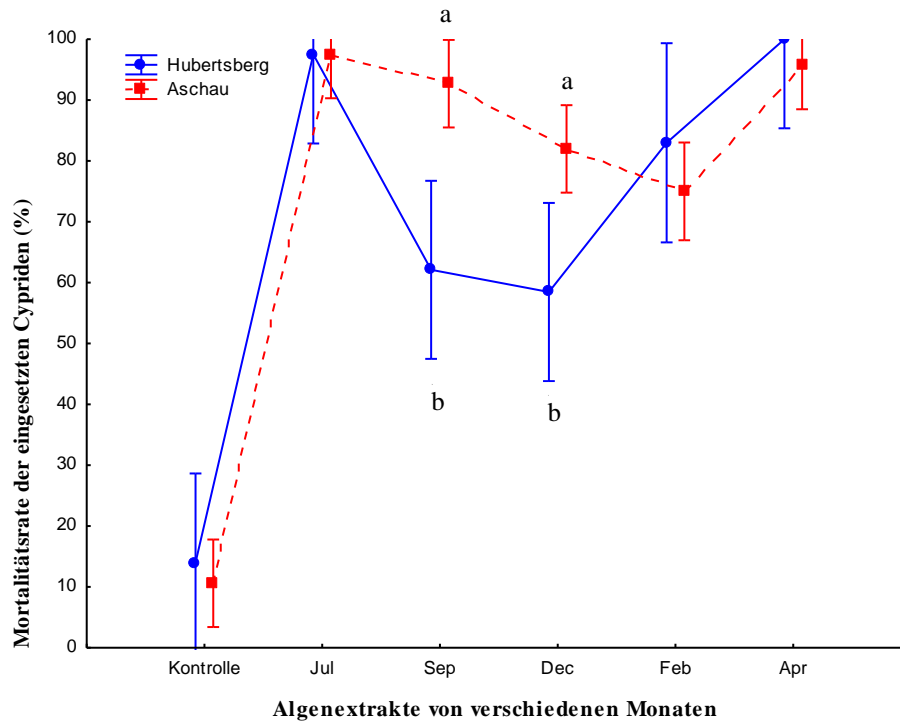
4.2.3. Vergleich der Mortalitätsraten der beiden Standorte

4.2.3.1 Vergleich der Mortalitätsrate von *F. vesiculosus* in Abhängigkeit der beiden Standorte

Der Antifoulingeffekt der Algenextrakte von *F. vesiculosus* auf die Mortalität von *A. improvisus* vom 27. Versuchstag der beiden Standorte Hubertsberg und Aschau ist vergleichend in Grafik 29 abgebildet.

Der Post Hoc Tukey's Test der Repeated Measures ANOVA vom 27. Tag der beiden Experimente machte deutlich, dass die Mortalitätsrate bei den Kontrollen und bei en Algenextrakten von Juli fast identisch waren. Bei den Monaten Februar und April war

die Mortalitätsrate am Standort Hubertsberg um jeweils 5 % höher als beim Standort Aschau. Es gibt einen signifikanten Unterschied zwischen der Mortalitätsrate im September und Dezember, wobei die Mortalitätsraten bei den Algenextrakten aus Aschau höher war als in Hubertsberg.

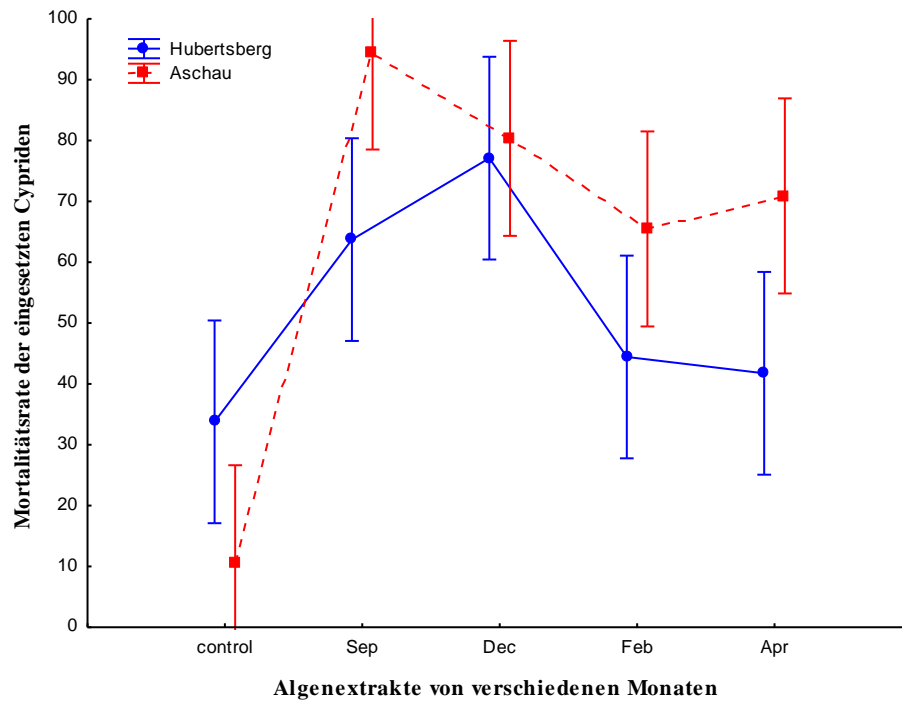


Graphik 29: Mortalitätsrate von *A. improvisus* in Abhängigkeit *F. vesiculosus* (Aschau and Hubertsberg) von fünf verschiedenen Monaten (Mittelwerte \pm Konfidenzintervalle, die bei Werten außerhalb des 0 - 100 Bereichs nicht dargestellt sind). Signifikante Differenzen sind durch kleine Buchstaben gekennzeichnet (Tukey's Test, $\alpha \leq 0,01$).

4.2.3.2. Vergleich der Mortalitätsrate von *F. serratus* in Abhängigkeit der beiden Standorte

Der Antifoulingeffekt der Algenextrakte von *F. serratus* auf die Mortalität von *A. improvisus* vom 27. Versuchstag der beiden Standorte Hubertsberg und Aschau ist vergleichend in Grafik 30 abgebildet.

Der Post Hoc Tukey's Test der Repeated Measures ANOVA vom 27. Tag der beiden Experimente machte deutlich, dass die Mortalitätsrate bei den Algenextrakten aus den verschiedenen Monaten aus Aschau höher war als bei den Algenextrakten aus Hubertsberg, aber es keine signifikanten Unterschiede gab. Bei den Kontrollen war die Mortalitätsrate bei Hubertsberg höher als bei Aschau.



Graphik 30: Mortalitätsrate von *A. improvisus* in Abhängigkeit von *F. serratus* (Aschau and Hubertsberg) von fünf verschiedenen Monaten (Mittelwerte \pm Konfidenzintervalle, die bei Werten außerhalb des 0 - 100 Bereichs nicht dargestellt sind). Signifikante Differenzen sind durch kleine Buchstaben gekennzeichnet (Tukey's Test, $\alpha \leq 0,01$).

5. Diskussion

5.1. Ermittlung der Adultextraktkonzentration für die höchste Siedlungsrate

5.1.1. Steigerung der Siedlungsrate durch Adultextrakte

Im Experiment wurde bestätigt, dass die Siedlung von *A. improvisus* Cypriden durch das Adultextrakt der gleichen Spezies gefördert wird. Dieses Ergebnis deckt sich mit anderen wissenschaftlichen Studien. Eine ältere Studie fand heraus, dass die Siedlung von Cypriden von *B. balanoides* von adulten Seepocken der gleichen Spezies beeinflusst werden kann (Knight-Jones 1953). Festgestellt wurde auch, dass die Siedlung von Cypriden von *A. improvisus* durch Adultextrakt beeinflusst wird (Dineen 1991; Berntsson 2004). Der gleiche Effekt wurde bei *B. amphitrite* (Matsumura 1998) und *Semibalanus balanoides* (Crisp 1963) herausgefunden. Zudem stellte Matsumura (1998) fest, dass der siedlungsinduzierende Proteinkomplex (SIPC) von adulten *B. amphitrite* während der Larvenentwicklung synthetisiert und in den Cypriden akkumuliert wird. Der SIPC wurde in der Schale, in der Hypodermis und im elastischen Gewebe von adulten *B. amphitrite* gefunden.

5.1.2. Höchste Siedlungsrate bei einer Konzentration des Adultextrakts von 10 µl/ml

Das im Rahmen dieser Bachelorarbeit durchgeführte Experiment hat gezeigt, dass das Adultextrakt in einer Konzentration von 10 µl/ml die höchste Siedlungsrate von *A. improvisus* hervorruft. Die Siedlungsrate nahm im Laufe des Experiments ab. Dieselbe Abnahme der Siedlungsrate zeigte die Studie von Rittschof (1984) zu den Siedlungsraten von *B. amphitrite* auf Polystyren mit und ohne Siedlungsinduzierungsfaktoren.

Die richtige Konzentration des Adultextrakts ist wichtig, da die Siedlungskompetenz von Larven generell durch eine positive Indizierung verstärkt wird und dadurch eine erfolgreichere Besiedelung hervorgerufen werden kann (Satuito 1997).

Im Experiment wurde bei einer Konzentration von 10 µl/ml die höchste Siedlungsrate von *A. improvisus* mit ca. 70 % festgestellt. Dass im Experiment die Mortalitätsrate bei Zugabe des Adultextrakts höher war als bei der Kontrolle, ist in diesem Zusammenhang

kein Widerspruch. Die höhere Mortalitätsrate lässt sich damit erklären, dass das Adultextrakt nicht nur aus Siedlungsfaktoren, sondern auch aus anderen Proteinen und verschiedenen organischen Materialien besteht, welche ein Wachstumsmedium für Bakterien und andere Prokaryoten sein können, die vermutlich eine erhöhte Mortalitätsrate bewirken. Dieser Effekt trat auch beim Adultextrakt von *Semibalanus balanoides* bei einem Experiment von Crisp (1962, 1963) auf. Er zeigte, dass Prokaryoten einen negativen Einfluss auf die Siedlung und das Leben der Cypriden haben.

5.1.3. Niedrigste Siedlungsrate bei einer Konzentration des Adultextrakts von 20 µl/ml

Das im Rahmen dieser Bachelorarbeit durchgeführte Experiment hat auch gezeigt, dass bei einer Adultextraktkonzentration von 20 µl/ml die Siedlungsrate der Cypriden um ca. 35 % niedriger ist als im Vergleich zu allen anderen Konzentrationen; auch die Mortalitätsrate ist höher als bei den anderen Konzentrationen. Daraus kann gefolgert werden, dass eine Konzentration von 20 µl/ml des Adultextrakts zu hoch ist.

Dass eine zu hohe Konzentration des Adultextrakts einen negativen Effekt auf die Siedlungsrate haben kann, zeigten vorher schon andere Studien (z.B. Matsumura (1998)).

In einer oben schon erwähnten Studie (Matsumura 1998) wurde das Adultextrakt in der gleichen Weise hergestellt wie in diesem Experiment, wobei Matsumura von einer Bakterienkontaminierung nach einer vierundzwanzigstündigen Inkubierung bei einer Konzentration von 20 µl/ml des Adultextrakts berichtete.

In unserem Experiment wurde nicht getestet, ob eine Bakterienkontaminierung tatsächlich der Grund für die höhere Mortalitätsrate bei einer Konzentration von 20 µl/ml war. Es kann zwar nicht völlig ausgeschlossen werden, dass es eine höhere Siedlungsrate bei einer Konzentration von 20 µl/ml gegeben hätte, wenn das Adultextrakt aufgeköcht worden wäre, um Bakterienkontamination zu verringern (Rittschof 1984); gegen einen schwerwiegenden Bakterienbefall spricht aber, dass bei der besten Konzentration des Adultextrakts mit 10 µl/ml die Mortalitätsrate nur leicht höher war als bei der Kontrolle; da die Siedlungsrate sehr hoch war, kann die Kontaminierung mit Bakterien nur einen sehr geringen Einfluss gehabt haben. Somit überwiegen die positiven Einflüsse durch

das Erreichen einer erhöhten Siedlungsrate. Diese Ergebnisse rechtfertigten trotz gesteigerter Mortalitätsraten den Einsatz von Adultextrakten in den Antifoulingexperimenten. Zudem ist die genaue Zusammensetzung des Adultextrakts der Seepocke nicht bekannt, was dazu führen kann, dass durch Abkochen Teile des Adultextraktes denaturiert und dadurch zerstört werden könnten. Dies hätte eine verringerte Wirkung und dadurch einen veränderten Effekt hervorrufen können.

5.2. Antifouling von *F. vesiculosus* und *F. serratus*

5.2.1. Antifoulingeffekte bei Algen

Es gibt bislang keine vergleichenden Studien zur Verteidigung von *F. vesiculosus* und *F. serratus* gegenüber Makrofouling in der Ostsee. Sehr viele Untersuchungen haben sich auf die Präsenz von Foulingverteidigung bei marinen Makroalgen konzentriert (Steinberg 2001; Nylund 2003).

Manche marine Algen entwickeln chemische und physikalische Verteidigungen gegen die Besiedlung und das Wachstum von Foulingorganismen auf ihrer Oberfläche. In diesem Zusammenhang wurde eine große Vielfalt von marinen Naturprodukten identifiziert, welche verschiedene Aktivitäten gegen Foulingorganismen besitzen (Clare 1996; Rittschof 2000).

Viele Studien zeigten, dass die Art von Antifouling zwischen den Spezies, ihrer geographischen Lage, ihren Habitaten, ihren individuellen Eigenschaften und den Foulingspezies variieren kann (Hay 1996).

So beobachtete de Nys (1995), dass sich die Rotalge *Delisea pulchra* aktiv gegen die Besiedlung von *B. amphitrite* verteidigt. Zudem belegte Schmitt (1995), dass *Bugula neritina* sekundäre Metaboliten besitzt, welche die Besiedlung durch die natürlichen epiphytischen Braunalgen *Diczyota menstrualis* stoppt. Außerdem präsentierte Nylund (2002) in seiner Studie, dass die Siedlung von *A. improvisus* auf *Chondrus crispus* signifikant inhibiert wird, aber die anderen Algen *Polyides rotundus* und *Osmundea ramosissima* nur eine Tendenz zur Inhibierung zeigen. Im Kontrast zu den zuvor genannten Arten scheint *Delesseria sanguine* die Siedlung von *A. improvisus* sogar zu stimulieren (Nylund 2003).

Die im Rahmen dieser Bachelorarbeit durchgeführten Experimente haben ergeben, dass die Antifoulingeffekte der beiden Algenspezies *F. vesiculosus* und *F. serratus* gegen die Seepocke *A. improvisus* von den verschiedenen Jahreszeiten, von den Standorten in der Ostsee sowie von Fraßdruck abhängen können.

5.2.2. Antifoulingeffekte bei *F. vesiculosus*

Die durchgeführten Antifoulingexperimente zeigten eine signifikante Differenz zwischen der Kontrolle und den Proben mit Algenextrakten. Dies zeigt, dass die Cypridenlarven ohne Algenextrakt ein natürliches Siedlungsverhalten zeigten und deshalb negative Effekte auf die Besiedlung den Algenextrakten zuzuordnen sind.

5.2.2.1. Saisonale Unterschiede

Die im Rahmen dieser Bachelorarbeit durchgeführten Experimente haben gezeigt, dass die Siedlungsrate von Cypriden mit dem Algenextrakt von *F. vesiculosus* im Winter (Dezember bis Februar) höher war als in den Sommermonaten (Juni bis August). Zu ähnlichen Ergebnissen kam auch Maréchal (2004) in seiner Studie, in der er die höchste Besiedlungsrate von *B. amphitrien* in den Monaten Oktober bis Januar detektierte.

Eine Erklärung dafür kann die Ressource Licht sein, die maßgeblich an der Bildung von Metaboliten beteiligt ist und in den Wintermonaten ab Oktober deutlich geringer ist. Verblüffend ist aber, dass Algen in diesen Zeiträumen unter ihrem Lichtkompensationspunkt leben, was bedeutet, dass sie in dieser Zeit keinen Kohlenstoff fixieren können und somit eigentlich nicht überlebensfähig sind (Wahl 2009/2010). Diese Tatsache führt aber auch dazu, dass im Winter weniger Metabolite gebildet werden (Amade 1998; Pavia 2000). Das heißt, dass *F. vesiculosus* in der Lage ist, im Winter Energie zu sparen, indem weniger sekundäre Metaboliten hergestellt werden. Da aber in den Wintermonaten die Lichtenergie für ein Wachstum der Algen fehlt (Lehvo 2001), können größere Biomassenverluste z.B. hervorgerufen durch Herbivore erst im Frühling wieder regeneriert werden (Dethier 2009).

Das hat auch Hellio (2003) in einem Versuch gezeigt, bei dem sie *F. vesiculosus* längere Zeit im Dunkeln hielt und dann der Besiedlung durch Fouler aussetzte. Dies führte da-

zu, dass die im Dunkeln gehaltenen Individuen mehr befallen wurden. Die geringere Produktion von Metaboliten im Winter ist nachvollziehbar, da in den Wintermonaten nur eine geringe Zahl an Epibionten auf den Algen siedeln und darüber hinaus auch ein reduzierter Fraßdruck durch herbivore Organismen besteht. Die Wachstumsrate der Alge steht in negativer Korrelation mit der Produktion von sekundären Metaboliten (Fagerström 1989; Yates 1993).

Brock (2007) stellte in seiner Studie fest, dass an der schwedischen Küste die Siedlungsrate von *B. improvisus* im September auf Felsen höher war als auf *F. vesiculosus*. Allerdings gab es im März keine signifikante Besiedlungspräferenz der Cypriden für Felsen oder *F. vesiculosus*. Diese Beobachtung zeigt die saisonale Variation von Anti-fouling auf *F. vesiculosus*. Den gleichen Effekt beschrieb auch Wikström (2004), wobei Plastikplatten als Referenz zu *F. vesiculosus* verwendet wurden. Zudem detektierte Maréchal (2004) eine Besiedlung von unter 15% bei einer Konzentration an Algenextrakt, die eine Mortalitätsrate um 50 % von April bis Juli bewirkte.

5.2.2.2. Regionale Unterschiede

Bei den Antifoulingexperimenten wurde festgestellt, dass die Ergebnisse auch regional verschieden waren; dabei gab es keine Siedlung von Cypriden bei *F. vesiculosus* Extrakten aus Hubertsberg in den Frühjahrs- und Sommermonaten. Bei *Fucus vesiculosus* Extrakten aus Aschau wurde eine geringe Besiedlung mit um 1 bis 5 % in den Sommermonaten und eine höhere in den Wintermonaten festgestellt, wobei die Siedlungsrate im Januar mit 40 % die höchste war. Gleichzeitig lag die Mortalitätsrate an beiden Standorten in den Sommermonaten bei über 95 %.

Dies kann ein Zeichen dafür sein, dass in den Sommermonaten - im Gegensatz zu den Wintermonaten - mehr Metaboliten gebildet wurden, welche die Besiedlungsrate verringerten. Zur Inhibierung der Besiedlung werden die Algenmetabolite an der Algenoberfläche abgelagert und / oder ins Wasser abgegeben, wie Hay (1996), Dworjanyn (2006), und Schmitt (2007) beobachtet haben.

Bei den Siedlungsraten mit Algenextrakt von *F. vesiculosus* gab es somit zwischen den Sommer- und Wintermonaten an den beiden Standorten Unterschiede. Bei den Algenextrakten aus Hubertsberg zeigten sich mehr jahreszeitlich bedingte signifikante Unterschiede als bei den Extrakten aus Aschau; bei den Extrakten aus Aschau wurde lediglich

ein signifikanter Unterschied zwischen den Algenextrakten vom Januar und den Algenextrakten der übrigen Monate festgestellt. Diese unterschiedlichen Ergebnisse beinhalten aber nur Schwankungen im Muster, da es sich nicht nur um zwei verschiedene Standorte, sondern auch zwei verschiedene Jahre handelt. Im Endeffekt ist aber die gleiche Tendenz zu einer stärkeren Verteidigung im Sommer, wenn die Seepocken am stärksten siedeln, zu erkennen.

Die Musterverschiebung an den beiden Standorten kann damit zusammen hängen, dass in Aschau die Wassertemperatur im Vergleich zu Hubertsberg im Sommer höher sein kann, da dieser Standort in der Eckernförder Bucht gelegen ist. Die erhöhte Wassertemperatur könnte eine Verstärkung des Foulingdrucks auf die Alge verursacht haben. Sie müsste durch eine verstärkte Verteidigung reagieren, um dem Foulingdruck nicht zu unterliegen.

Diese verschiedenen Bedingungen hinsichtlich der in diesem Zusammenhang erwähnten unterschiedlichen Umweltbedingungen und der Stärke des Foulingdrucks auf die Algen in Aschau könnte der Grund für eine höhere Mortalitätsrate durch eine gesteigerte Verteidigung im Gegensatz zu den Algen aus Hubertsberg darstellen.

Zudem können die Fitness der Algenindividuen, sowie die verschiedenen Wetterbedingungen in den verschiedenen Jahren, in denen die Algenproben gesammelt wurden, eine Rolle gespielt haben Haring (2002). Es könnte somit sein, dass die Antifoulingverteidigung der Algen aus Aschau im Vergleich stärker war als die der Algen aus Hubertsberg.

5.2.2.3. Unterschiede im Foulingdruck

Durch die Antifoulingmetaboliten der Algen war die Verteidigungsstärke gegen die Seepocken im Sommer geringer. In unseren Experimenten wurde bei dem Algenextrakt von *F. vesiculosus* aus Hubertsberg im September 2005 eine höhere Siedlungsrate als im Februar 2006 festgestellt. Bei den Algenextrakten aus Aschau war die Siedlungsrate im April geringer als im Mai und die Siedlungsrate im September geringer im Vergleich zu Juni und August.

Die Ergebnisse der Experimente zeigten einen Unterschied zu den anderen Studien und zu der oben genannten Hypothese, in der eine höhere Siedlungsrate in den Wintermonaten als im Herbst (September) erwartet wurde. Der Foulingdruck (Siedlungsrate) von *A.*

improvisus auf Plastikplatten wurde von Schütt (unveröffentlichte Daten) von 2005 bis 2008 in der Kieler Förde ermittelt. Diese Erhebung ergab im Mittel der drei Jahre keinen bis einen geringen Foulingdruck in den Monaten von November bis April und eine Siedlungsrate von 5 % bezogen auf den Mittelwert der Siedlungsraten der drei Jahre im Mai und Oktober. Der höchste Foulingdruck wurde im Juli ermittelt. Es fiel auf, dass der Foulingdruck im August geringer war als im September.

Zudem war eine höhere Siedlungsrate im April als im Mai zu erwarten, da die Metabolitenbildung zum Sommer hin ansteigt und dadurch die Verteidigungsstärke der Algen größer sein sollte. Es könnte sein, dass im September 2005 in Hubertsberg und im Mai 2006 in Aschau ein höherer Stress oder Foulingdruck auf *Fucus* gewirkt hat. Dies könnte durch eine Phytoplanktonblüte, die einen Lichtmangel verursachte, hervorgerufen worden sein.

Außerdem könnten an den beiden Probeentnahmeorten bessere Umweltbedingungen für Foulter geherrscht haben. Daraus könnte sich eine höhere Reproduktionsrate der Foulter ergeben haben.

Diese beiden Faktoren könnten dazu geführt haben, dass die Algen in ihrer Verteidigung geschwächt wurden. Es müssten allerdings weitere Studien durchgeführt werden, um diese These zu verifizieren.

5.2.3. Antifoulingeffekte bei *F. serratus*

Die Siedlungsraten von *F. serratus* auf Algenextrakten aus dem April aus Hubertsberg und Aschau waren die höchsten, was ein Signal für weniger Antifoulingmetaboliten im Frühjahr ist.

Die Siedlungsrate der Cypriden im Winter (Dezember - Februar) lag im Vergleich zu den Siedlungsraten der anderen Jahreszeiten bei beiden Experimenten höher. Es gab bei den Proben aus Aschau aber keine signifikanten Unterschiede in der Besiedlung bezogen auf die Algenextrakte der verschiedenen Monate.

Für die Antifouling Experimente wurden die Algenextrakte so hergestellt, dass sie der Konzentration in der Natur entsprachen. Das Algenextrakt war an den Wänden und dem Boden der Wells angelagert, zudem wurden von dort auch Algenmetaboliten in das Wasser abgegeben.

Die Mortalitätsraten der Cypriden waren in den Sommermonaten mit 95 bis 100 % sehr hoch, wobei die Mortalitätsrate am Standort Aschau höher war. Dies kann damit zusammenhängen, dass die Konzentration der Metaboliten bei den Antifoulingexperimenten in der natürlichen Gewebekonzentration der Alge bestimmt worden ist, da es sehr schwer ist, die Oberflächenkonzentration an Metaboliten der Alge zu ermitteln. Dieser Umstand kann dazu geführt haben, dass die Konzentration an Antifoulingmetaboliten höher war als in der Natur.

Für die höhere Konzentration der Metaboliten kann es zwei weitere Gründe geben:

1. In der Natur wird das Wasser kontinuierlich ausgetauscht, sodass die Konzentration an Algenextrakten um den Thallus nicht so groß ist wie im Labor.
2. Es kann möglich sein, dass das Wasser in den Wells wegen der zu hohen Konzentration mit Algenmetaboliten gesättigt war, welche die Cypriden töteten.

Bei den Algenextrakten aus Hubertsberg lag die Mortalitätsrate im Sommer bei 100 %; in den kälteren Monaten war sie geringer, nur im Dezember gab es eine sehr hohe Mortalität mit ca. 80 %. Die Mortalitätsrate war bei beiden Experimenten bei den Kontrollen geringer als unter Hinzufügung von Algenextrakten.

Schlussendlich verfälschte die höhere Konzentrierung an Metaboliten nicht die allgemeine Beobachtung, dass bei hohem Foulingdruck im Sommer die Metabolitenkonzentration der Alge und damit die Verteidigungsstärke am größten war.

Weitere Faktoren wie etwa die physikalische und chemische Oberflächenstruktur der Algen wurden in dieser Studie nicht berücksichtigt. Für die chemische Oberflächenstruktur sind verschiedene marine Organismen mit einer spezifischen mikrobiellen Zusammensetzung auf der Thallusoberfläche verantwortlich. Dieser Biofilm hat verschiedene Effekte auf die Siedlung von Invertebratenlarven (Dobretsov 2010).

5.2.4. Unterschiedliche Antifoulingeffekte bei *F. vesiculosus* und *F. serratus*

In Hubertsberg siedelten im Frühjahr Seepocken zu einem höheren Prozentsatz auf *F. serratus* als auf *F. vesiculosus*; im Herbst war es genau umgekehrt. In Aschau war die Siedlungsrate höher als in Hubertsberg, da dort beim Algenextrakt vom Januar 2006 30 % mehr Cypriden siedelten als im Durchschnitt der anderen Monate; sonst waren keine großen Unterschiede zu erkennen.

Allgemein war die Mortalitätsrate bei Algenextrakten von *F. serratus* niedriger als bei *F. vesiculosus*. Das kann bedeuten, dass *F. vesiculosus* eine höhere inhibierende Wirkung auf *A. improvisus* hat als *F. serratus*. Dieser Effekt lässt vermuten, dass bei diesen beiden Standorten *F. vesiculosus* besser gegen die Besiedlung von *A. improvisus* adaptiert ist als *F. serratus*. Auch eine Studie von Wikström (2003) zeigte, dass *F. vesiculosus* eine stärkere Verteidigung gegen Cypridenbesiedlung hat als *F. evanescens*.

Dieser Effekt unterschiedlicher chemischer Verteidigung der beiden Algenarten *Fucus vesiculosus* und *Fucus serratus* kann sehr spezifisch oder sehr verbreitet sein und saisonal fluktuieren. Ein solcher Effekt wurde von Hello (2004) bei der Untersuchung von 30 verschiedenen Makroalgen - welche in der Bretagne gesammelt wurden – beschrieben. Die Studie von Hello (2004) zeigte, dass Algen aus der Bretagne keine gezielte Verteidigung gegen *B. amphitrite* hatten, da diese Spezies aus den Tropen stammt. Sie haben aber eine bessere Verteidigung gegen temporäre Fouler wie *A. improvisus* oder *Eliminius modestus*. Diese Interaktion zwischen marinen Algen und Foulern durch die Exkretion von wachstumshemmenden Substanzen scheint eine wichtige Rolle in der Ökologie zu spielen (Harlin 1996).

Für die Zukunft wäre es interessant, die Antifoulingaktivität von Algen über mehrere Jahre zu vergleichen. Es ist ebenfalls sinnvoll verschiedene geographische Vorkommen dieser Algen in der Ostsee unter Berücksichtigung physiologischer Faktoren wie Temperatur, Salinität und Lichtintensität zu untersuchen. Zudem wäre es interessant auf zu zeigen ob Cypriden von *A. improvisus* Einflüsse auf die Verteidigungsaktivierung der Algen hat und wie diese aktiviert wird.

6. Literaturverzeichnis

- Amade, P. (1998). "Chemical defence of the Mediterranean alga *Caulerpa taxifolia*: variations in caulerpenyne production." Aquat. Toxicol 43: 287-300.
- Berntsson, K. M. (2000). "Reduction of barnacle recruitment on micro-textured surfaces: Analysis of effective topographic characteristics and evaluation of skin friction." Biofouling 16: 245-261.
- Berger R. (2001). "Two reproductive strategies in Baltic *Fucus vesiculosus* (Phaeophyceae)." Eur. J. Phycol. 36: 265-273.
- Berntsson, K. M. (2004). "Rejection of unsuitable substrata as a potential driver of aggregated settlement in the barnacle *Balanus improvisus*." Mar Ecol Prog Ser 275: 199-210.
- Borell E. M. (2004). "Induced resistance in intertidal macroalgae modifies feeding behavior of herbivorous snails." Oecologia 140: 328-334.
- Brawley, S. H. (1992). "Plant-animal interaction in the marine benthos" Clarendon Press, Oxford 235-263.
- Brock, E. (2007). "Chemical inhibition of barnacle larval settlement by the brown alga *Fucus vesiculosus*." Mar Ecol Prog Ser 337: 165-174.
- Brouns, J. J. W. M. (1986). "Production and biomass of the seagrass *Enhalus acoroides* (L.f.) Royle and its epiphytes." Aquatic Botany 25: 21-45.
- Cerrano, C. (2001). "The influence of the epizotic hydroid *Hydractinia angusta* on the recruitment of the Antarctic scallop *Adamussium colbecki*." Polar Biology 24: 577-581.
- Chambers, L. D. (2006). "Modern approaches to marine antifouling coatings." Surface and Coatings Technology 201: 3642-3652.
- Clare, A. S. (1996). "Marine natural product antifoulants: status and potential." Biofouling 9: 211-229.
- Crisp, D. J. (1962). "Adsorbed layers: the stimulus to settlement in barnacles " Proc. Roy. Soc. B. 156: 500-520.
- Crisp, D. J. (1963). "The chemical basis of gregariousness in cirripedes." Proc. Roy. Soc. B. 158: 364-387.
- Crisp, D. J. (1984). "Factors influencing the settlement of marine invertebrate larvae." Grant, P. T. ; Mackie, A. M. Chemoreception in marine organisms. Academic Press London: 177-265.
- D Antonio, C. (1985). "Epiphytes on the rocky intertidal red alga *Rhodomela larix* (Turner) C. Agardh: negative effects on the host and food for herbivores?"

J Exp Mar Biol Ecol 86: 197–218.

Davison I. R. (1996). "Stress tolerance in intertidal seaweeds."

J. Phycol. 32: 197-211

de Nys, R. (1996). "Quantitative variation of secondary metabolites in the sea hare *Aplysia parvula* and its host plant, *Dilsea pulchra*." Mar Ecol Prog Ser 130: 135–146.

de Nys, R. (1999). "Role of secondary metabolites from algae and seagrasses in biofouling control." Science Publishers 3: 223-244.

Dethier, M. N. (2009). "Seasonal stresses shift optimal intertidal algal habitats."

Marine Biology 156: 555-567

Dineen, J. (1991). "Interactive effects of salinity and adult extract upon settlement of the estuarine barnacle *Balanus improvisus*." J Exp Mar Biol Ecol 156: 239–252.

Dobretsov, S. (2010). "Facilitation and inhibition of larval attachment of the bryozoan *Bugula neritina* in association with mono-species and multi-species biofilms."

J Exp Mar Biol Ecol 333: 263-274.

Dobretsov, S. (2010). "Malyngolide from the cyanobacterium *Lyngbya majuscula* interferes with quorum sensing circuitry." Environmental Microbiology Reports 2: 739-744.

Dworjanyn, S. A. (2006). "Chemically mediated antifouling in the red alga *Delisea pulchra*." Mar Ecol Prog Ser 318: 153-163.

Dworjanyn, S. A. (2006). "Costs of chemical defences in the red alga *Delisea pulchra*."

Oikos 113: 13-22.

Fagerström, T. (1989). "Antiherbivory chemical defence in plants: a note on the concept of cost." American Naturalist 133: 281-287.

Fechel, T. (1988). "Marine plankton food-chains."

Annu Rev Ecol Syst 19: 19-38.

Gama, D. B. (2002). "The effects of seaweed secondary metabolites on biofouling."

Biofouling 18: 13-20.

Haring N. R.. (2002) "Desiccation facilitates wave-induced mortality of the intertidal alga *Fucus gardneri*." Mar Ecol Prog Ser 232: 75-82

Harlin, M. M. (1996). "Allelochemistry in marine macroalgae."

Crit Rev Toxicol 5: 237-249.

Harvell, C. D. (1990). "The ecology and evolution of inducible defences."

Quart Rev Biol 65: 323-341.

Hay, M. E. (1996). "Marine chemical ecology: what s known and what s next?"

J Exp Mar Biol Ecol 200: 103-134.

Hellio, C. (2003). "Seasonal Variation of Antifouling Activities of Marine Algae from the Brittany Coast (France)." Mar. Biotechnol. 6: 67–82.

Hellio, C. (2004). "Isethionic acid and floridoside, isolated from the red alga, *Grateloupia turuturu*, inhibit settlement of *Balanus amphitrite* cypris larvae." Biofouling 20.

Hirote, H. (1996). "Terpenoids with antifouling activity against barnacle larvae from the marine sponge *Acanthella cavernosa*." Tetrahedron 52: 2359-2368.

Honkanen, T. (2005). "Genotypic variation in tolerance and resistance to fouling in the brown alga *Fucus vesiculosus*" Oecologia 144: 196-205.

Jormalainen, V.; Honkanen, T. (2008). "Macroalgae chemical defenses and their roles in structuring temperate marine communities." In: Amsler CD (ed) Algal chemical ecology: 57-89

Kautsky, N. (1986). "Decreased depth penetration of *Fucus vesiculosus* (L.) since the 1940 s indicates eutrophication of the Baltic Sea." Mar Ecol Prog Ser 28: 1-8.

Knight-Jones, E. W. (1953). "Laboratory experiments on gregariousness during setting in *Balanus balanoides* and other barnacles." J Exp Biol 30: 584-598.

Lehvo, A. (2001). "Growth of *Fucus vesiculosus* in the northern Baltic proper: Energy and nitrogen storage in seasonal environment." Botanica marina 44: 345-350.

Lewis, C. A. (1978). "A review of substratum selection in free- living and symbiotic cirripeds." Settlement and metamorphosis of invertebrate larvae: 207-218.

Lüning, K. (1990). " Seaweeds: Their Environment, Biogeography and Ecophysiology." Wiley & Sons.

Maki, J. (2002). "Biofouling in the marine environment. In Encyclopedia of environmental microbiology." Wiley & Sons 610-619.

Maréchal, J.- P. (2004). "Seasonal variation in antifouling activity of crude extracts of the brown alga *Bifurcaria bifurcata* (Cystoseiraceae) against cyprids of *Balanus amphitrite* and the marine bacteria *Cobetia marina* and *Pseudoalteromonas haloplanktis*." J Exp Mar Biol Ecol 313: 47-62.

Marin, A. (2005). "Sponge coating decreases predation on the bivalve *Arca noae*." J Molluscan Stud 71: 1-6.

Matsumura, K. (1998). "Immunological studies on the settlement-inducing protein complex (SIPC) of the barnacle *Balanus amphitrite* and its possible involvement in larva-larva interactions." Proc. R. Soc. Lond. B. 265: 1825-1830.

- Matsumura, K. (1998). "Lentil Lectin Inhibits Adult Extract-Induced Settlement of the Barnacle, *Balanus amphitrite*." The Journal of Experimental Zoology 280: 213-219.
- Meyer, K. D. (1995). "Variation in secondary metabolite and aragonite concentrations in the tropical green seaweed *Neomeris annulata*: effects on herbivory fishes." Mar Biol 122: 537–545.
- Nylund, G. M. (2003). "Inhibitory effects of red algal extract on larval settlement of the barnacle *Balanus improvisus*." Marine Biology 143: 875-882.
- Oswald, R. (1984). "The effect of encrusting bryozoans on the photosynthetic activity of *Fucus serratus* L. Estuarine, Coastal and Shelf." Science 19: 697-702.
- Pansch, C. (2009). "Consequences of light reduction for antiherbivore defense and bio-activity against mussels in four seaweed species from northern-central" Chile Mar Ecol Prog Ser 381: 83-97.
- Patil, J. S. (2006). "Influence of diatom exopolymers and biofilms on metamorphosis in the barnacle *Balanus amphitrite*." Mar ecol Pro Ser 301: 231-246.
- Paul V. J. (2004) "Chemical mediation of interactions among marine organisms." Natural Product Reports 21: 189-209.
- Paul, V. J. (1992). "Activation of chemical defenses in the tropical green-algae *Halimeda* spp." Journal of Experimental Marine Biology and Ecology 160: 191-203.
- Pavia, H. (2000). "Influence of light and nitrogen on the phlorotannin content of the brown seaweeds *Ascophyllum nodosum* and *Fucus vesiculosus*." Hydrobiologia 440: 299-305.
- Pawlik, J. R. (1992). "Chemical ecology of the settlement of benthic marine invertebrates." Oceanography and Marine Biology: An Annual Review 30: 273-335.
- Pineda, J. (1997). "Dependence of settlement rate on suitable substrate area." Mar Biol 129: 541–548.
- Richmond, M. D. (1991). "A review of marine macrofouling communities with special reference to animal fouling." Biofouling 3: 151-168.
- Rittschof, D. (1984). "Oyster drills and the frontiers of chemical ecology: Unsettling ideas." Am Malacol Bul Spec Ed 1: 111-116.
- Rittschof, D. (2000). "Natural product antifoulants: one perspective on the challenges related to coatings development." Biofouling 6: 115-112.
- Rohde S. (2008). "Antifeeding defense in baltic macroalgae: Induction by direct grazing versus waterborne cues." J. Phycol. 44: 85-90

Satuito, C. G. (1997). "Studies on the factors influencing larval settlement in *Balanus amphitrite* and *Mytilus galloprovincialis*." Hydrobiologia 358: 275-280.

Schmitt, A. O. (2007). "Fine mapping of mouse QTLs for fatness using SNP data." OMICS 11: 341-350.

Schories, D. (2003). "Testung des Klassifizierungsansatzes Mecklenburg-Vorpommerns (innere Küstengewässer) unter den Bedingungen Schleswig-Holsteins und Ausdehnung des Ansatzes auf die Außenküste." Küstengewässer-Klassifizierung deutsche Ostsee nach EU-WRRL: 56-58.

Schumacher, J. F. (2007). "Species-specific engineered antifouling topographies: correlations between the settlement of algal zoospores and barnacle cyprids " Biofouling 23: 307-317.

Schwenke, H. (1964). "Vegetation und Vegetationsbedingungen in der westlichen Ostsee (Kieler Bucht)." Kieler Meeresforschungen 20: 157-168.

Schwenke, H. (1965). "Beiträge zur angewandten marinen Vegetationskunde der westlichen Ostsee (Kieler Bucht)." Kieler Meeresforschungen 21: 144-152.

Selig, U. (2008). "Verbreitung und Ökophysiologie von *Fucus*-Beständen der Mecklenburger Bucht." Rostocker Meeresbiologie 20: 123-142.

Stamp N. (2003). " Out of the quagmire of plant defense hypotheses." Quart Rev Biol 78: 23-55

Steinberg, P. D. (1992). "Tolerance of marine invertebrate herbivores to brown algal phlorotannins in temperate Australasia." Ecol. Mongr. 62: 189-222.

Steinberg, P. D. (2001). "Chemical mediation of surface colonization." Marine chemical ecology Boca Raton CRC Press: 355-387.

Thorson, G. (1964). "Light as an ecological factor in the dispersal and settlement of larvae of marine bottom invertebrates." Ophelia 1: 167-208.

Torn, K. (2006). "Present and past depth distribution of bladderwrack (*Fucus vesiculosus*) in the Baltic Sea." Aquatic Botany 84: 53-62.

Van Alstyne K. L. (1988). "Herbivore grazing increases polyphenolic defenses in the intertidal brown alga *fucus-distichus*." Ecology 69: 655-663.

Van Alstyne K. L. (2001). "Activated defense systems in marine macroalgae: Evidence for an ecological role for DMSP cleavage." Mar Ecol Prog Ser 213: 53-65.

Wahl, M. (1989). "Marine epibiosis, I: fouling and antifouling: some basic aspects." Mar Ecol Prog Ser 58: 175-189.

Wahl, M. (1995). "Associational resistance and shared doom: effects of epibiosis on herbivory." Oecologia 102: 329-340.

Wahl M. (2008) "Ecological modulation of environmental stress: interactions between ultraviolet radiation, epibiotic snail embryos, plants and herbivores." J Anim Ecol 77: 549-557.

Wahl, M. (2009/2010). "Synchronization and fine tuning between biotic threats and defences in marine organisms: Colonization pressure and antifouling defence." unveröffentlichtes Paper.

Wahl, M.; L. Shahnaz, et al. (2010). "Ecology of the bladder wrack's *Fucus vesiculosus* resistance to fouling: 1. patterns of microfouling and antimicrobial protection." Mar. Ecol. Progr. Ser. 411: 33–48.

Weinberger, F. (2002). "A signal released by an enclophytic attacker acts as a substrate for a rapid defensive reaction of the red alga *Chondrus crispus*." Chem biochem 3: 1260-1263.

Weitmeyer, M. K. a. K. (1999). "Der große Kosmos Strandführer Tiere und Pflanzen in Nord- und Ostsee " Franckh-Kosmos Verlags-GmbH: 288-289.

Wikström, A. (2003). "Chemical settlement inhibition versus post-settlement mortality as an explanation for differential fouling of two congeneric seaweeds." Oecologia 138: 223-230.

Wikström, A. (2004). "Invasion of a habitat-forming seaweed: effects on associated biota." Biol Invasions 6: 141-150.

Yates, J. L. (1993). "Effects of nutrient availability and herbivory on polyphenolics in the seaweed *Fucus vesiculosus*." Ecology 74: 1757-1766.

Zimmer, R. (2000). "Chemical signaling processes in the marine environment." Biol Bull 198: 168–187.

Bildquellen:

Abbildung 1:

http://www.uri.edu/cels/bio/thornber/galleries/algae_phaeophyceae/images/Fucus_vesiculosus_spiralis.jpg

Abbildung 2:

http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/5/53/Fucus_serratus.jpg

Abbildung 3:

http://adl.brs.gov.au/marinepests/images/Balanus_improvisus_new1.JPG

7. Danksagung

Zu aller erst möchte ich Herrn Prof. Dr. Martin Wahl dafür danken, dass er mir die Möglichkeit eröffnet hat, diese Bachelorarbeit unter seinem Menterrat zu schreiben. Mein Dank gilt ihm auch für die Unterstützung bei der Bearbeitung des Themas und für die gute Betreuung.

Ein großes Dankeschön möchte ich Ali Nasrolahi (Doktorand) aussprechen, der mir bei Aufbau und Gliederung meiner Bachelorarbeit geholfen hat. Darüber hinaus war er mir eine große Hilfe bei der Planung und Umsetzung meiner Experimente, insbesondere wenn es darum ging, eine Larvenkultur an zu setzen und zur Vermehrung zu führen.

Ich möchte mich auch bei Tim Lachnit (Doktorand) bedanken, der mir half, die beste Methode zu entwickeln, um aus Algenpulver Algenextrakt zu gewinnen. Nadja Stärk (MTA) war mir in jeder Situation eine kompetente Ansprechpartnerin in der Beantwortung aller Fragen zu Arbeiten im Labor. Dr. Mark Lenz, Dr. Florian Weinberger und Christian Pansch (Doktorand) hatten immer ein offenes Ohr, halfen mir bei der Arbeit mit dem Statistikprogramm und gaben mir wertvolle Hinweise zur Präsentation der Daten. Ich danke ihnen dafür.

Ein spezieller Dank geht an die gesamte Arbeitsgruppe; Arbeiten in einer so netten Atmosphäre war eine tolle Erfahrung.

8. Persönliche Erklärung

Hiermit erkläre ich, dass ich die vorliegende Arbeit selbstständig und ohne fremde Hilfe angefertigt und keine anderen als die angegebenen Quellen und Hilfsmittel verwendet habe. Die eingereichte schriftliche Fassung der Arbeit entspricht der auf dem elektronischen

Speichermedium.

Weiterhin versichere ich, dass diese Arbeit noch nicht als Abschlussarbeit an anderer Stelle vorgelegen hat.

(Matthias Mertzen)